RTMMAM n° 1 (2007)

Dossier

Mesures d'intervalles, méthodologie et pratique[*]

AMINE BEYHOM [**]

Introduction générale

Le monde de l'ethnomusicologie et de la musicologie analytique est, de manière quasi permanente, confronté à l'utilisation d'échelles sortant du cadre du tempérament égal et du système intervallique de la musique tonale. Ces échelles forment souvent système, et sont quelques fois théorisées de manière exhaustive [1] ; reste que leur identification ainsi que l'étude de variations d'ordre intonationel en leur sein sont difficiles, et nécessitent dans la majorité des cas des mesures permettant de mieux décrire (« transcrire ») l'évolution du contour mélodique dans le temps.

On pourrait croire que, pour des musiciens ou des musicologues habitués à des tempéraments « exotiques » ou formés à un système mélodique fortement non tempéré, l'identification à l'oreille des intervalles utilisés dans des musiques

[*] Ce dossier est une synthèse de recherches de l'auteur sur les échelles de musiques traditionnelles, et d'un cours et de séminaires de formation aux mesures d'intervalles à l'Université Antonine et à l'université Paris Sorbonne, Paris IV en 2007.

[**] Professeur associé de musicologie à l'Institut Supérieur de Musique de l'Université Antonine – Baabda (Liban), chercheur associé au Centre de Recherche « Langages Musicaux » de l'Université Paris Sorbonne - Paris IV.

[1] *Cf.* Beyhom, 2003.

non familières et également non tempérées serait relativement aisée : ceci est loin d'être le cas, la tendance « naturelle » étant de ramener les hauteurs et intervalles non familiers au schéma intervallique et musical le plus usité par l'analysant ; ce phénomène a été constaté par l'auteur dans le cadre de cours donnés à l'université antonine au Liban, à des étudiants de niveau master 2 en musicologie [2], qui ont identifié des échelles modales de musiques non familières [3] avec des échelles courantes de la musique arabe ce qui, après vérification, s'est avéré erroné [4].

Ce processus d'identification « à l'oreille » est, par conséquent, à proscrire dans toute analyse mélodique à prétention scientifique [5], et son utilisation systématique dans, par exemple, les transcriptions des « folkloristes » européens des deux siècles précédents [6], met ces dernières sérieusement en question, plus particulièrement en ce qui concerne les musiques à voix nue ou accompagnées uniquement de percussions ; dans ce dernier cas, en effet, les évolutions éventuelles de la fondamentale (du « diapason »), les variations au sein de l'échelle ainsi que les modulations possibles rendent extrêmement aléatoire une transcription fidèle à l'original, surtout pour des musicologues formés (à la base) à des tempéraments fixes (ou quasiment) et habitués à des interprétations (relativement) standardisées. Dans le cas de musique instrumentale ou mixte, le « diapason » (les notes « fixes ») demeurant relativement stable(s) [7], l'analyse devient plus aisée mais la difficulté demeure quant à la détermination des intervalles exacts des échelles utilisées, même dans le cadre d'instruments

[2] Dont certains diplômés en études instrumentales ou en chant au Conservatoire Supérieur National de Musique - Liban.

[3] En l'occurrence, de musique bretonne.

[4] Cette tendance à « ramener » l'existant vers le familier (ou le reconnaissable) existe, évidemment, aussi en ce qui concerne les rythmes : dans une séance de répétitions à Royaumont, dans le cadre des concerts parallèles au colloque « maqâm et création », un rythme tadjik a été identifié, par divers musiciens et musicologues présents, comme un « 13/8 » ; une analyse minutieuse rythmico-métrique a permis de démontrer que, en cas d'hypothèse sur l'existence de battements isochrones, cette appréciation était loin de la réalité, les rapports temporels au sein du cycle rythmique évoluant avec le temps [*cf.* Beyhom, 2005].

[5] Sauf dans le cas trivial où on analyse une musique d'un répertoire familier dans un système intervallique stable ou fixe, comme par exemple le système tempéré égal à 12 demi-tons, au sujet duquel Mark Lindley (2001, p. 248) précise qu'il est « le tempérament standard en Occident aujourd'hui, sauf parmi les spécialistes de musique ancienne » [traduit de l'anglais].

[6] Bien obligés de se contenter des outils existants à l'époque …

[7] Mais pouvant évoluer (généralement en montant) quand les instruments, notamment à vent, « chauffent » : ce processus prend un certain temps, mais il arrive que deux phrases musicales (instrumentales ou vocales) analysées à quelques dizaines de secondes d'intervalle montrent un déplacement de la fondamentale, ce qui n'est pas rédhibitoire dans le cas où les proportions intervalliques restent cohérentes (homothétiques).

« discrets »[8] si le tempérament de ces derniers s'éloigne du tempérament égal[9] ; à cela vient également s'ajouter le phénomène d'hétérophonie, courant en musiques populaires ou extra-européennes, qui rend d'autant plus malaisée une identification/discrimination correcte des intervalles utilisés.

A ce stade, il est peut-être utile d'expliquer pourquoi cet article a pour titre « Mesures d'intervalles », et non pas « Mesures de hauteurs » ? La réponse est simple pour tout ceux qui sont familiarisés avec l'analyse de musiques non standardisées, et est contenue implicitement dans les paragraphes précédents ; mesurer des intervalles, et pas des hauteurs (de « notes », ou de « degrés »), devient indispensable dès qu'un instrument mélodique (y compris la voix) :

- n'est pas nécessairement accordé sur une « tonique » calée sur un diapason quelconque (le *la* à 438-442 Hz),
- est joué de manière à ce que les intervalles utilisés sortent du cadre du tempérament égal sur grille de 12 demi-tons à l'octave ou de tout autre tempérament (ou division de l'octave) facilement identifiable par l'analysant, et ce d'autant plus s'ils sont variables et/ou fluctuants[10].

Ces conditions (non exhaustives) se retrouvent presque toujours dans les analyses de musiques décrites comme étant « de tradition orale » et/ou « populaires », mais également pour des musiques d'« art » ou « savantes » extra-européennes[11], qu'elles soient « sacrées » ou « profanes ». Il devient évident que la mesure de « hauteurs » est, dans ce genre de cas, insuffisante pour une meilleure compréhension de l'évolution mélodique si elle n'est pas associée à la mesure des intervalles constitutifs de la mélodie, que ce soit par rapport à une tonique, à tout degré stable dans ses répétitions, ou encore par rapport aux hauteurs conjointes (précédente et suivante).

[8] Les catégories d'instruments discrets et continus, ou encore semi-discrets, etc., ont été explicitées par l'auteur dans la thèse [Beyhom, 2003] : en résumé, les instruments discrets sont des instruments mélodiques à intervalles fixes ou délimités (guitare, piano, instruments frettés ou à clavier en général, ou à pistons pour les instruments à vent), tandis que les instruments continus permettent l'exécution d'intervalles variables dans une même phrase mélodique (à l'exemple de la voix, du violon, du *'ūd*, etc.) ; cette catégorisation avait déjà été effectuée par Frédéric Lagrange dans sa thèse sur la musique égyptienne de la *Nahḍā* [Lagrange, 1994].

[9] Ou si les instruments sont accordés de manière « non traditionnelle » (ou tout simplement « mal » accordés).

[10] Comprendre par « variables » que les intervalles utilisés ne sont pas les mêmes selon l'évolution de la mélodie (ce procédé ressort de la structure même de la musique performée – exemple : une modulation quelconque), et par « fluctuants » que les degrés de l'échelle peuvent « bouger » selon le « toucher » d'un musicien (sur la touche du *'ūd*, par exemple) ou la volonté du performeur.

[11] Sinon européennes, en revenant plus au registre populaire et en rappelant que les musiques d'« art » peuvent également être de tradition orale.

Une autre raison pour favoriser la mesure d’intervalles (ou plutôt la déduction d’intervalles) plutôt que de hauteurs trouve sa justification dans les mesures à l’aide de logiciels dédiés, dont nous parlerons plus longuement en fin de première (et dans la deuxième) partie de cet article.

Pour notre démonstration, le corps de l’article sera divisé en deux parties, la première revoyant les techniques usuelles de mesure pratiquées de nos jours [12], et la deuxième étant consacrée à la méthodologie appliquée aux mesures à l’aide de logiciels spécialisés, ici sur l’exemple du logiciel *Praat* [13] ; cette deuxième partie peut également servir de manuel d’apprentissage rapide de l’utilisation de ce logiciel (commandes et commentaires listés en notes de bas de page) sur des exemples précis, tirés de musiques bretonnes et de la région de diffusion du *maqām,* mais sa finalité est, avant tout, l’établissement d’une méthodologie de mesures limitant les erreurs de manipulation de logiciel d’un côté, et, d’un autre côté, de donner quelques lignes directrices pour l’analyse mélodique couplée à l’utilisation d’un logiciel de mesure de hauteurs (ou d’intervalles). En effet, et sachant que toute mesure d’intervalle est déjà une analyse musicale [14], en réduisant les erreurs sur le processus de mesure en tant que tel, et en explicitant les choix effectués (fréquences-bornes d’analyse, méthode de mesure – par segment ou ponctuelle, choix de la « tonique » dans le cas d’une détermination d’échelle, etc.), la discussion sur une éventuelle interprétation des résultats et des prémisses ou processus d’analyse qui l’ont conditionnée devient, pour le moins, plus aisée.

Enfin, rappelons que le but de ces méthodologies est, avant tout, de fournir aux analysants une méthode pratique, relativement sûre et rapide, de relever et analyser des intervalles pour des musiques, avant tout et en l’état actuel de la technologie disponible, monodiques [15] ; un complément est prévu, concernant l’analyse suivant cette méthodologie de certaines musiques non monodiques [16],

[12] Et connues de l’auteur, qui ne peut prétendre à l’exhaustivité.

[13] « Voix » en néerlandais : ce logiciel freeware s’est avéré, selon mon expérience, comme très performant dans le domaine des mesures de hauteur, et est accessible gratuitement ; des précisions supplémentaires sont données en annexe quant aux auteurs et aux algorithmes utilisés, ainsi que sur la procédure de test appliquée par l’auteur pour vérifier la cohérence des résultats (cf. également note n° 34).

[14] Tout comme toute transcription (une des finalités de la mesure d’intervalles) est déjà, en soi, une analyse.

[15] *Cf.* note suivante.

[16] Des séminaires de formation en mars 2007, pour étudiants et doctorants de l’université Paris Sorbonne, Paris IV, ont porté notamment sur des analyses de chant accompagné de guitare, ainsi que sur des monodies à appuis fluctuants comportant des variations homothétiques des intervalles : ces dernières analyses nécessitent un bagage méthodologique (et des précautions dans l’interprétation des résultats) accru(s), et sortent du cadre de ce premier dossier.

la quantification ainsi que la validation statistiques de mesures effectuées pour un chant (avec plusieurs couplets supposés être comparables, sinon identiques, sur le plan mélodique), et la possibilité d'étendre ce type de validation à un répertoire donné ; ce complément devrait être publié à une date (ou au sein d'une édition) ultérieure (de la revue).

I^e^ partie : Méthodes usuelles de « mesure » d'intervalles (de transcription)

1.0 Introduction

Si la transcription moderne dépend avant tout du support écrit (la notation occidentale sur portée), l'identification des hauteurs (et des intervalles) et leur transcription s'est faite depuis l'Antiquité [17], notamment à travers la notation alphabétique. Les problèmes qui se posaient alors aux musiciens et théoriciens de la musique (nos actuels « musicologues ») étaient comparables à ceux rencontrés aujourd'hui, et ne sont que les reflets (les échos ?) de la vieille polémique entre aristoxéniens et pythagoriciens sur la détermination des échelles utilisées dans la musique grecque ancienne. Aux pythagoriciens, adeptes de la quantification mathématique des intervalles, les aristoxéniens opposaient le jugement de l'oreille et considéraient que l'écoute était la seule manière adéquate de déterminer les degrés de l'échelle. La méthode des pythagoriciens consistait à considérer que tout intervalle qui sortait du cadre de la théorie était « faux », et devait par conséquent être ramené à l'intervalle correspondant, « juste » mathématiquement ; les aristoxéniens, par contre, considéraient que tant que l'intervalle était perçu comme « juste » par l'oreille, il avait droit de cité et devait être inclus dans la théorie *ad hoc*. Dans l'argumentation développée dans l'introduction à cet article, la méthode pythagoricienne correspond tout à fait, paradoxalement, au processus d'identification des intervalles par analogie avec des intervalles d'un système de référence, considéré, implicitement ou non, mais sûrement arbitrairement, comme « juste » : nous avons vu que cette méthode menait à des erreurs, même chez des analysants familiers avec des musiques non tempérées. L'« écoute » aristoxénienne, même si elle peut remporter, pour le principe, l'adhésion, soulève néanmoins les mêmes problèmes exposés dans l'introduction et qui

[17] Voir à ce sujet et pour les remarques suivantes, notamment, [Mathiesen, 1999 et 2001] et [Chailley, 1979] pour la musique grecque ancienne, ainsi que [Kindī, 1965] pour la musique arabe. West (2005) et Vitale (1982) mentionnent de leur côté une notation cunéiforme ugaritienne qui s'appuie sur la mention des intervalles successifs. Par ailleurs, l'article « notation » du *New Grove – Dictionary of Music and Musicians* (2001) comporte également une liste abondante de références bibliographiques sur le sujet.

peuvent se résumer en la difficulté de quantifier les intervalles (de les mesurer), surtout quand une oreille exercée « sent » que ces intervalles sortent du cadre habituel (pour l'« oreille » en question). En considérant qu'un musicologue ou un musicien expérimenté peut être capable de déterminer à l'oreille (par l'écoute) si un intervalle sort du cadre du système intervallique qui lui sert de référence, reste à pouvoir quantifier cette différence et à vérifier si elle correspond à des intervalles d'autres systèmes intervalliques que le système référentiel, ou si cette variation est inclassable en l'état. Ceci correspond en fait au processus *inverse* de l'« identification » des intervalles (que l'on apprend couramment dans les conservatoires et les universités aux musiciens et aux musicologues), et qui est le processus de « discrimination » des intervalles. Pour ce faire, les analysants ont utilisé plusieurs méthodes, dont j'expose les plus usuelles et typiques ci-dessous[18], dans l'ordre croissant de complexité et de pertinence (ou d'indépendance de l'écoute subjective) :

1. La comparaison avec un système intervallique de référence stable ; dans cette catégorie, nous pouvons considérer deux sous-catégories :
    a) La comparaison « de mémoire auditive », ou comparaison spontanée avec le système de référence selon la mémoire auditive dont est imprégné l'analysant.
    b) La comparaison avec un instrument accordé à tempérament « fixe » :
        1. à accordage et diapason relativement stables (par exemple le piano),
        2. à accordage relativement stable et diapason variable (par exemple une clarinette ou un saxophone),
        3. à accordage et diapason variables (par exemple une guitare).
2. La comparaison avec des instruments continus du type violon ou *'ūd*, ou encore un monocorde.
3. La comparaison avec un instrument à tempérament variable et identifiable, de type clavier électronique à diapason *et* hauteurs modifiables.
4. La comparaison avec un accordeur électronique

[18] Le but de cet exposé n'est en effet, pas d'effectuer une revue historique des méthodes utilisées pour mesurer (discriminer/identifier) des intervalles (ou transcrire des mélodies), mais bien de rappeler, en un ensemble coordonné, les différentes méthodes utilisées de nos jours, et de relever leurs points forts et leurs points faibles en ce qui concerne la précision des mesures effectuées ainsi que la fiabilité des transcriptions en résultant.

5. La mesure d'intervalles par des logiciels spécialisés, avec une méthodologie appropriée.

Ces cinq méthodes ont chacune des avantages et des inconvénients que nous allons exposer dans la suite de cette première partie d'article, en remarquant que les trois dernières sont récentes et datent de l'avènement de l'ère électronique.

1.1 Comparaison avec un système de référence stable

Ceci concerne, comme explicité ci-dessus, la comparaison « instinctive », « à l'oreille », ou encore la comparaison avec un instrument à tempérament « fixe ». Dans le premier cas, un des avantages de la méthode est, pour une oreille exercée, de pouvoir identifier un système intervallique indépendamment du diapason utilisé, ou même de pouvoir « accompagner » les évolutions éventuelles de ce diapason ; l'inconvénient majeur en est la dépendance complète (de la transcription résultante) de la subjectivité du musicologue, ce dernier pouvant être amené à identifier des intervalles là où aucune identification n'est possible, et à négliger des variations qui peuvent être de l'ordre de la structure même du mode (ou de l'échelle modale), ou encore, plus subtilement, à quantifier (et, surtout, à qualifier) de manière erronnée des variations décelées par rapport à la « norme ».

Dans le cas des instruments à tempéraments (relativement) stables, les instruments à diapason fixe peuvent se révéler inadéquats en cas d'évolution de la fréquence du diapason (ou tout degré de référence supposé « stable ») avec le temps (par exemple dans le cas d'évolution avec le temps de la fréquence de la fondamentale dans la mélodie analysée). Les instruments à accordage modifiable (comme la guitare) permettent de suivre ces dernières évolutions, même si le processus de réaccordage peut s'avérer laborieux (selon l'instrument).

Dans tous les cas de figure, les « mesures » effectuées ne peuvent être que qualitatives (degré « plus haut » ou « plus bas » que le degré de référence, intervalle « plus petit » ou « plus grand » que l'intervalle de référence) et dépendent fortement de la capacité de discrimination auditive de l'analysant qui, selon la personne, la hauteur absolue et le timbre, est très variable ; ces méthodes ne peuvent être appliquées que dans le cadre d'une musique dont le système intervallique est complètement déterminé à l'avance, comme par exemple la musique tempérée égale, et représentative d'un répertoire que le musicologue ou le musicien maîtrise lui-même parfaitement ; même dans ce dernier cas, cependant, les variations éventuelles (*glissandi*, raccourcissement

d'intervalles en mouvement mélodique, etc.) ne pourront être décrites, au mieux, que de manière approximative [19].

1.2 Comparaison avec des instruments continus

Ce genre d'analyse est souvent pratiqué par des musiciens ou musicologues de la zone du *maqām*, mais peut être effectué par des violonistes (ou en utilisant un violon) ou avec tout autre instrument continu : l'avantage de cette méthode est qu'elle permet une reproduction plus précise des hauteurs et des intervalles et, par là, leur identification éventuelle pour peu que ces hauteurs et intervalles correspondent à des positions (souvent de doigtés) familières au musicien (et identifiées dans son système de référence) ; dans le cas inverse, cependant, la tendance à l'identification « forcée » (en « ramenant » des hauteurs ou des intervalles à des valeurs ou des positions plus familières) peut mener à des erreurs d'appréciation rédhibitoires [20].

La comparaison avec un monocorde, même dans le cas de mesures de la corde pour une hauteur « identifiée », souffre de la même subjectivité qu'avec d'autres instruments « continus » : elle s'avère inefficace si le pouvoir de discrimination de l'oreille (et son exercice) ne permet pas d'échapper au phénomène d'identification [21].

En définitive, cette méthode, bien que permettant à un musicologue expérimenté de vérifier ponctuellement la conformité de certaines hauteurs ou intervalles avec son système de référence (qui peut être complexe, tempéré inégal, etc.) [22], et de reproduire éventuellement et qualitativement des variations de la courbe mélodique, n'est généralement pas applicable en dehors du système référentiel de l'analysant, et devient d'autant moins efficace dans le cas de musiques complexes mélodiquement, notamment pour le chant mélismatique et/ou traditionnel ; cette méthode fonctionne également par analogie auditive, et dépend fortement, tout comme la première, du pouvoir de discrimination

[19] Un des exemples les plus frappants d'erreur de ce type est l'assimilation de l'intervalle central du genre *ḥijāz*, par des musicologues et musiciens occidentaux, à une « seconde augmentée » de la musique occidentale, alors que la valeur réelle de cet intervalle tourne autour des cinq quarts de ton dans la pratique traditionnelle du *maqām* arabo-turco-persan (*cf.* Beyhom, 2007).

[20] Signalons ici, pour l'exemple, l'existence d'autres « instruments continus » servant ou ayant servi à mesurer des hauteurs, à l'instar de la sirène de Cagnard de Latour, voir webographie.

[21] Et peut se révéler très rapidement fastidieuse dans le cas de mélodies un peu complexes.

[22] Sachant que, de toute manière, aucun système de référence (auditive) ne peut prétendre, quelle que soit sa complexité, à une reproduction quantitative exacte de ces hauteurs et intervalles.

intervallique de l'écoute musicale (de l'« oreille » du musicologue ou du musicien).

1.3 Comparaison avec un instrument à tempérament variable et identifiable

Cette méthode pourrait s'imaginer avec, par exemple, un instrument à frettes déplaçables vers des positions identifiées et/ou quantifiées à l'avance : un tel instrument ne permettrait cependant pas une mesure suffisamment fine de l'intervalle et dépendrait du quadrillage de la touche, qui sera vite limité par des contraintes physiques (épaisseur de la frette et possibilité matérielle de définir des emplacements identifiés en nombre, mais également le nombre de frettes utilisables) : à ce sujet, il convient de rappeler l'existence, historiquement, de guitares à frettage complexe qui permettaient, suite à des manipulations parfois laborieuses, de jouer dans différents « tons » harmoniques en gardant une justesse équivalente indépendamment des transpositions [23] ; il faut également rappeler l'existence d'instruments à clavier comportant plusieurs rangées de touches supplémentaires à celle du piano (ou de l'orgue ou du clavecin) traditionnel, et qui permettaient également de jouer dans des tons différents et de transposer sans préjudice pour la « justesse » harmonique [24]. Ce genre d'instrument est cependant inaccessible de nos jours au commun des mortels, et généralement relégué dans les musées d'instruments de par le monde ; il n'est par ailleurs pas prouvé que ces instruments aient pu servir à des problématiques comparables à celles que nous développons dans cet article : nous parlerons par conséquent ici uniquement d'instruments modernes du type clavier électronique, avec possibilité (courante) de modification du diapason mais également (moins courant) des hauteurs assignées aux touches. Dans ces derniers instruments, la définition est de l'ordre du cent en ce qui concerne les hauteurs, ce qui dépasse la capacité de discrimination des meilleurs musiciens ou facteurs, selon ce qu'a pu constater l'auteur [25].

[23] Notamment par un système de frettes particulières à chaque corde de la guitare, avec possibilité d'enficher des frettes (« barrettes » individuelles pour chaque corde) sur la touche suivant un système correspondant à une division de l'octave en 53 intervalles « égaux » (système de commas de Holder) [*cf.* Evans, 1979, p. 38, n° 17 - Guitare « enharmonique »].

[24] Voir notamment à ce sujet [Meeùs, 1977, 1980, 1986a, 1986b, 1998] : les transpositions dans ce genre de cas sont néanmoins et généralement limitées.

[25] La limite communément admise pour le pouvoir de discrimination de l'oreille est de cinq cents pour un musicien exercé ; j'ai pu constater de moi-même, au cours de recherches effectuées en Bretagne en 2002 et 2003, que les facteurs de binious et bombardes arrivaient à distinguer des différences de l'ordre de 2 à 3 cents ; cette précision est comparable à celle de musiciens et accordeurs libanais [Beyhom, 2003], mais également, selon le chanteur et clarinettiste Erik Marchand [comm. personnelle en date du 07 août 2006], à

Ce genre de solution permet d'établir des mesures rapides et relativement fiables à condition que l'oreille soit bien entraînée à :

- discerner les variations minimes de hauteur,
- différencier les transitoires (attaque et extinction) du son fondamental (il faut insister sur la partie centrale du son, là ou on « sent » qu'il se stabilise).

Cette méthode, souvent efficace et rapide, dépend néanmoins de la qualité de discrimination de l'oreille de l'auditeur, ce qui est un « manque » pour la méthodologie, et est difficilement applicable dans le cas de chants mélismatiques (en général fortement non tempérés, avec des variations quasi continues des hauteurs), ou encore de fondamentales évolutives (nécessité de reprogrammer le clavier à chaque variation significative, et impossibilité pratique[26] de suivre des évolutions continues).

Remarque : Il faut signaler, à ce stade de l'exposé, que les trois méthodes abordées jusqu'ici ont en commun un avantage appréciable par rapport aux deux suivantes, qui est qu'elles permettent, pour peu que les timbres des instruments soient différenciables à l'écoute, d'effectuer des « mesures » pour des instruments (y compris la voix) au sein d'un ensemble.

1.4 Comparaison avec un accordeur électronique

J'ai pu observer l'utilisation de cette méthode à Téhéran, en 2005, en marge du congrès international *Safiyuddīn Urmawī*, à l'IFRI[27] : le musicien utilisait un *qānūn*[28] dont il accordait les cordes à l'unisson des hauteurs produites par un autre instrument (dans ce cas de figure, à cordes et fretté), et vérifiait tour à tour les hauteurs des deux instruments en les comparant aux lectures de l'accordeur (qui donnait les hauteurs en fréquences, dont on retraduisait ensuite les rapports en cents). Une autre possibilité est de mesurer, directement sur le « VU mètre » de l'accordeur, le différentiel avec une hauteur absolue quelconque[29].

celle qu'il a pu constater pour lui-même en utilisant également un clavier à diapason transposable et hauteurs assignables (et quantifiables) en cents.

[26] Dans l'état actuel de la technologie disponible.

[27] Institut Français de Recherche en Iran.

[28] Cithare de la tradition arabo-turque, pourvue de 72 à 78 cordes triples (modèle égyptien notamment) couvrant à peu près 3 octaves (*cf.* Tranchefort, 1980, p. 243-245).

[29] Pour ce faire, il faut que le son perdure un tant soit peu (pour une stabilité de l'aiguille – ou de son équivalent numérique) : certains musiciens (ou musicologues) utilisent pour ce faire des logiciels de traitement du son qui « allongent » la durée du son, sans (en principe) en modifier la hauteur ; cette procédure est un peu

Cette dernière méthode permet de vérifier ponctuellement des hauteurs, et de calculer des intervalles en effectuant les opérations mathématiques correspondantes ; elle a l'avantage d'être indépendante de la capacité de discrimination de l'oreille, mais est extrêmement limitée dans ses applications : elle ne permet en effet ni d'avoir une idée claire des changements éventuels d'intervalles, notamment par un phénomène de « tiré » des cordes sur la frette d'un instrument à cordes (de type *sāz* ou guitare), et encore moins de suivre les évolutions de la note notamment pour les transitoires d'attaque et d'extinction que nous aborderons plus en détail dans la deuxième partie de cet article. Il va sans dire que, pour l'analyse d'une mélodie quelconque, ce genre de mesure donne des résultats limités ; elle est néanmoins indépendante de la capacité de discrimination de l'oreille, ce qui constitue, à l'évidence, un plus en ce qui concerne la rigueur scientifique[30]. Par ailleurs, et tout comme la méthode suivante, elle a le désavantage, souvent rédhibitoire, de ne permettre que la mesure de hauteurs de sons issus d'un instrument unique.

1.5 Mesures d'intervalles avec des logiciels spécialisés

Cette solution, la plus complète en musicométrie des intervalles, doit cependant s'accompagner de précautions évidentes et nécessite la maîtrise d'une chaîne de programmes complémentaires et indispensables à l'analyse. Nous verrons les détails de ces conditions, nécessaires pour une validation des résultats obtenus, en seconde partie d'article : nous nous contenterons dans cette section d'en relever les différents avantages et désavantages identifiés à ce jour.

À part la nécessité de maîtriser un tant soit peu l'outil informatique[31], quelques autres préalables sont nécessaires pour l'application de cette méthode, notamment :

- Le logiciel doit avoir été testé et sa fiabilité prouvée et quantifiée, autant que possible, selon les timbres, les hauteurs absolues ainsi que les paramètres d'analyse (bornes de fréquence, pas de mesure, compréhen-

lourde, et dépend de la qualité des algorithmes utilisés dans le programme [*cf.* le test des logiciels « Cool Edit » et « Audacity » en Annexe]. Le même problème existe par ailleurs pour les instruments « continus » (deuxième méthode revue dans cet exposé), dès que les variations de hauteurs et d'intervalles deviennent trop rapides (par exemple dans le cas de *glissandi* suivis de changements rapides et/ou subtils des hauteurs).

[30] Il faut noter néanmoins ici que cette « rigueur » scientifique dépend en fait des algorithmes utilisés par l'accordeur électronique, qui ne sont en général nullement explicités dans les brochures mises à la disposition de l'utilisateur : c'est l'exemple type de la « boîte noire » qui donne toujours des résultats, mais ne permet pas de vérifier leur pertinence.

[31] Ce qui était l'apanage de quelques uns devient rapidement une nécessité pour tous.

sion du principe de fonctionnement des algorithmes utilisés pour éviter notamment les résultats de type « boîte noire », etc.).

- L'enregistrement sur lequel est effectuée l'analyse doit, autant que possible, correspondre à l'original et ne pas avoir été traité à l'aide de filtres quelconques (« nettoyage » d'enregistrements anciens, élimination arbitraire des bruits de fond, etc.) ou encore avoir subi des transformations algorithmiques de transfert de données (par exemple passage du format « WAV » au format « MP3 » et vice versa). Cet enregistrement doit également être accessible au lecteur, soit par sa mise à disposition sur un support matériel (ou encore par internet) si l'auteur possède les droits de l'enregistrement et/ou les autorisations nécessaires, soit à travers l'indication précise et fiable de la référence de l'enregistrement si ce dernier est disponible dans le commerce.
- Une méthodologie rigoureuse (et de « bon sens ») des mesures doit être appliquée, notamment en ce qui concerne les points ou segments de mesures, et la mise à disposition du lecteur de l'ensemble des données ayant permis de conclure dans un sens ou dans l'autre de l'analyse (*idem* bornes de fréquence et pas de mesure, mais également informations sur le traitement de « sauts » d'octave ou de « sauts harmoniques » éventuels, identification si possible des transitoires sur graphique de relevés des hauteurs, comparaisons si nécessaire de mesures ponctuelles sur le tronçon central avec une mesure moyennée, etc.) est une nécessité déontologique.
- Laisser le bon sens (musical, l'« écoute ») guider l'analyse musicométrique, et accepter en retour de se laisser guider ou remettre en question par les résultats obtenus, même s'ils peuvent, à première écoute, contredire le sentiment ou la perception auditive de l'analysant.
- Vérifier et revérifier les résultats.
- Se rappeler qu'une mesure comprend toujours un taux d'erreur [32], et en tenir compte pour l'analyse finale.

Ces préalables, conjugués à une méthodologie cohérente, permettent d'obtenir des résultats très efficaces, y compris en ce qui concerne des musiques très complexes mélodiquement comme nous nous proposons de l'exposer en 2e partie de ce dossier ; il n'en reste pas moins que, malgré des possibilités

[32] Il est remarquable que le taux d'erreur constaté, en cas d'application correcte de la méthodologie préconisée, est proche de celui de la définition de l'oreille soit de 2 à 5 cents pour des intervalles de l'ordre du ton. Pour plus de précisions, lire la partie des annexes consacrée au test du logiciel *Praat*.

d'isolement de certains sons d'instruments au sein d'un ensemble en vue de l'analyse, cette méthode ne peut s'appliquer couramment pour ce dernier cas, ce qui en limite la portée pratique, plus particulièrement dans le cas de musiques polyphoniques.

1.6 Conclusion de la 1e partie

Nous avons revu rapidement, dans cette première partie, différentes méthodes de mesures d'intervalles pour l'analyse et, notamment, la transcription de mélodies modales. Ces méthodes ont chacune des avantages et des inconvénients, notamment pour la dernière qui, bien que la plus solide sur le plan de la validation scientifique (comme nous nous proposons de le démontrer en 2e partie d'article), ne permet néanmoins pas (encore, et sauf exceptions, *cf.* note n° 16) d'effectuer des mesures pour des instruments au sein d'ensembles : ce défaut n'existe pas pour d'autres méthodes abordées dans le cours de cette 1e partie, mais ces dernières sont défectueuses sur le plan méthodologique, sauf dans des cas triviaux qui restent néanmoins tributaires d'une validation indépendante du sens de l'écoute humain.

L'exposé en deuxième partie d'article aura pour but de préciser la méthodologie à appliquer pour la dernière de ces méthodes - qui font toutes partie de l'arsenal analytique mis à contribution par le musicologue pour une meilleure compréhension des musiques modales, et sont complémentaires entre elles.

IIe partie : Tonagrammes

2.0 Introduction à la deuxième partie

Les méthodes modernes [33] de détermination de la hauteur d'un son se basent sur un choix entre différentes hauteurs possibles, auxquelles l'algorithme de calcul choisi assigne une probabilité (d'être le son fondamental) en fonction de la présence d'autres fréquences dans le spectre sonore du son analysé. Cette méthode, décrite ici de manière très succincte et simplifiée, se différencie de

[33] Cette partie se base partiellement sur un document intitulé « Praat tutorial for musicologists » (voir possibilité de téléchargement en liste bibliographique), notamment en ce qui concerne les commandes du logiciel *Praat* (Version 4.0.49) et certaines suggestions de chronologie de l'analyse. Ce document donne également des indications pratiques pour la manipulation du logiciel qui seront utiles au musicologue désireux d'effectuer des analyses de hauteurs (ou de rythmes), mais qui dépassent le cadre que nous nous sommes donné dans ce dossier. Pour les correspondances hauteurs/harmonique fondamental et pour des comparaisons entre différentes méthodes de détermination de la fondamentale, voir également Gerhard, 2003, téléchargé le 09/02/2007.

méthodes plus anciennes consistant en l'application de filtres successifs éliminant certaines fréquences au fur et à mesure jusqu'à arriver à isoler le son fondamental. Bien entendu, le résultat final dépend des paramètres choisis, notamment de la finesse de détermination des différentes composantes du son pour la première méthode, et celle du choix de l'étagement des filtres pour la deuxième. Nous ne nous étendrons pas ici sur ces paramètres, mais simplement sur la méthodologie générale à suivre pour que la subjectivité du musicologue ne vienne pas détruire l'objectivité (ou la « neutralité ») du programme. Les exemples ci-dessous sont issus d'analyses effectuées avec le logiciel *Praat* mentionné *supra*, qui permet notamment de reproduire des tonagrammes (relevés fréquences/temps avec possibilité de quadrillage graphique en fractions du ton) [34] et de comparer, par exemple, plusieurs passages similaires d'un même chant entre eux, ou encore de vérifier et mesurer des processus fins d'évolution de la mélodie. Pour ce faire, nous allons essayer d'analyser plusieurs extraits de mélodies monodiques, instrumentales ou vocales, en essayant de dégager, par l'exemple, une méthodologie simple pour assurer une adéquation (et la fiabilité) des résultats des mesures.

2.0.1 Considérations générales pour les mesures d'intervalles avec un logiciel dédié

Premièrement, il est important d'insister sur la traçabilité des analyses et mesures effectuées : à part la référence, évidente pour un musicologue, à l'auteur et à l'éditeur, au nom du morceau (ou, à défaut, à sa description) ainsi qu'à la date de publication et, surtout dans le cas d'enregistrement hors du domaine public, à la date et au lieu d'enregistrement, il faut également, en annexe ou dans le corps de l'analyse, préciser le positionnement des extraits analysés au sein d'un morceau, un minimum d'honnêteté intellectuelle imposant à l'analysant de mettre à la disposition du lecteur-auditeur l'intégralité des musiques analysées (ou d'indiquer pour le moins les références exactes et les bornes temporelles des extraits enregistrés pour les enregistrements disponibles dans le commerce), ainsi que les segments analysés (en cas de moyennes) ou emplacements précis des mesures (ponctuelles) effectuées. Dans le cas contraire, le musicologue aura beau jeu de prétendre que l'analyse fait ressortir des particularités du chant non discernables directement à l'écoute, la seule « garantie » fournie étant sa caution propre [35] ce qui, dans tous les cas de figure, ne peut

[34] Remarque : *Praat* utilise l'algorithme « accurate autocorrelation » (« auto-corrélation précise »), décrit dans (Boersma, 1993), et qui est une amélioration de la méthode par auto-corrélation « simple » décrite dans (Gerhard, 2003, p. 6-7).

[35] Ou, de manière plus subtile, quand les mesures sont effectuées en laboratoire par des spécialistes de l'acoustique, le musicologue ne faisant qu'interpréter des résultats à la gestation desquels il n'a pas contribué.

être considéré comme de l'objectivité scientifique. Par ailleurs, un principe simple doit être observé préalablement à toute mesure, qui est le passage du général au particulier, avec une observation préalable des bornes de fréquences du morceau : en effet, une mise en situation de l'extrait à analyser ainsi que des interférences possibles (par exemple de percussions ou de bruits de pas ou de voix quelconques) permet d'éviter d'emprunter des pistes d'analyse qui peuvent s'avérer inadéquates.

2.1 Exemples « simples »

La première analyse (simple) que nous effectuerons sera donc celle d'extraits d'un enregistrement de bombarde de fabrication bretonne, et jouée par le sonneur (et facteur d'instruments) Jorj Botuha[36]. Cet enregistrement a été choisi pour une première approche à cause de la (relative) stabilité des degrés de la bombarde jouée « à vide » (échelle « normale », jouée de la manière la plus « neutre » possible).

Le logiciel utilisé n'étant pas une « boîte noire », un certain nombre d'opérations préliminaires ont été effectuées pour déterminer l'ambitus de fréquences pour le son fondamental (premier partiel) ; une première estimation, large, est proposée, avec des bornes en fréquences de valeurs 75 (« basse ») et 2400 Hz (« haute »)[37], avec une subdivision de l'extrait analysé en 500 pas de temps[38].

Le graphique (figure 1) mixte[39] sonagramme (en haut) et fréquence/temps (ligne brisée du bas)[40] permet de déterminer que la borne inférieure des fré-

[36] Tous les enregistrements avec ce musicien ont été effectués le 13 décembre 2003, dans son atelier à Aurray - Bretagne.

[37] L'approche « large », que ce soit pour un chant ou une pièce musicale dans leur entièreté, ou encore concernant les fréquences couvertes par l'analyse logicielle, est indispensable - comme préalable à l'analyse - pour diverses raisons, dont la nécessité de mieux situer l'extrait analysé au sein du morceau, et de vérifier la manière dont réagit l'algorithme de détermination de la fréquence fondamentale en comparant les résultats avec l'écoute de l'analysant. Cet exercice est loin d'être gratuit, et ses résultats peuvent suggérer des pistes nouvelles d'analyse au musicologue tout en permettant de mieux situer les particularités d'un extrait quelconque par rapport au reste de la musique analysée, et de corriger éventuellement, dans une deuxième hypothèse, des sauts d'octave ou de quinte dans la détermination de la fondamentale (*cf.* Van Der Meer – webographie).

[38] Commandes *Praat* pour le nombre de pas de mesure : dans la fenêtre d'édition créée (voir *infra*), menu puis commandes « Pit.(ch) > Pitch settings > 500 (première valeur à renseigner) ». Notons ici qu'une analyse avec un pas de temps de 1/100e de seconde environ est suffisante, en général, pour des relevés de hauteurs et des calculs d'intervalles ; le pas de temps dans cette première analyse « grossière » est approximativement égal à 1/20e de seconde.

[39] Commandes « Sound left > Edit » dans *Praat* ; toutes les analyses sont effectuées, dans ce logiciel, sur un son mono : il suffit donc de lire un fichier « WAV » ou « aif » stéréo et de choisir une des pistes gauche ou

quences à analyser se situe aux alentours de 437 Hz (sur le côté droit – bas – du graphique) [41].

Une opération similaire (positionnement de la souris dans le plan, à la hauteur du segment approximativement le plus haut dans le relevé fréquence/temps) pour déterminer la borne supérieure permet de la situer à approximativement 825 Hz.

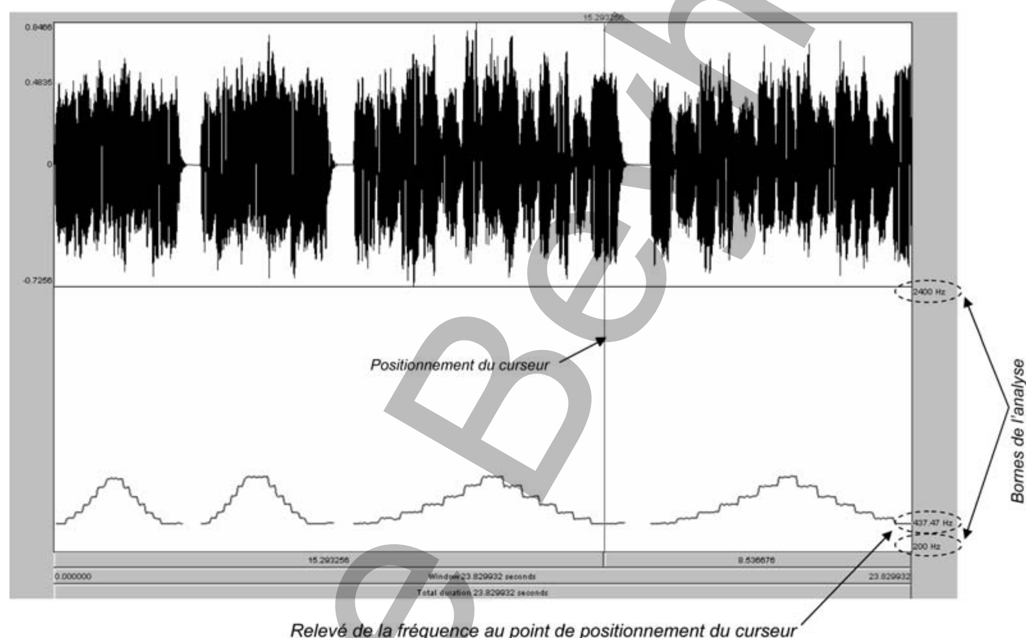


Figure n° 1. Graphique mixte sonagramme et relevé fréquences/temps, bombarde « copie Karnak » jouée par Jorj Botuha – piste CD n° 09 [42].

droite – dans cet exemple, la piste de gauche a été choisie, et les commandes préalables de lecture utilisées sont « Read > Two sounds from stereo file ».

[40] Le spectrogramme a été éliminé de cette représentation, pour une plus grande clarté de l'exposé ; commandes dans la fenêtre d'édition « View > Show analyses > (cocher uniquement la case "show pitch", et « décocher » les autres) ».

[41] Les bornes et mesure de l'analyse en fréquence figurent sur le côté droit de la partie basse du graphique ; les bornes de l'analyse du spectre (et de la fréquence correspondant au point de mesure) figurent sur le côté gauche.

[42] Réf. : 20GammesAscDesc_JB_(20)_CopieEnLa(Karnak)_JB_13_12_2003_(24 1es secondes).wav ; sur une bombarde en *la* fabriquée par Jorj Botuha (Vannes), copie d'un original (en *la*) de la région de Karnak, dotée pour l'occasion d'une anche large en buis.

À partir de ces bornes, élargies par sécurité (à approximativement plus ou moins 5 %, soit à 850 Hz pour la borne supérieure, et 400 Hz pour la borne inférieure – pour simplification de la lecture des graphiques), nous pouvons mener une analyse plus approfondie de l'évolution des fréquences fondamentales avec le temps.

Une première analyse [43], effectuée sur la troisième série de hauteurs (« échelle » comprise entre la 8e et la 16e secondes – figure 2) [44], permet d'obtenir un tracé (figure 3) simple du relevé fréquence/temps, et de vérifier la cohérence des opérations effectuées jusqu'à ce point de l'analyse.

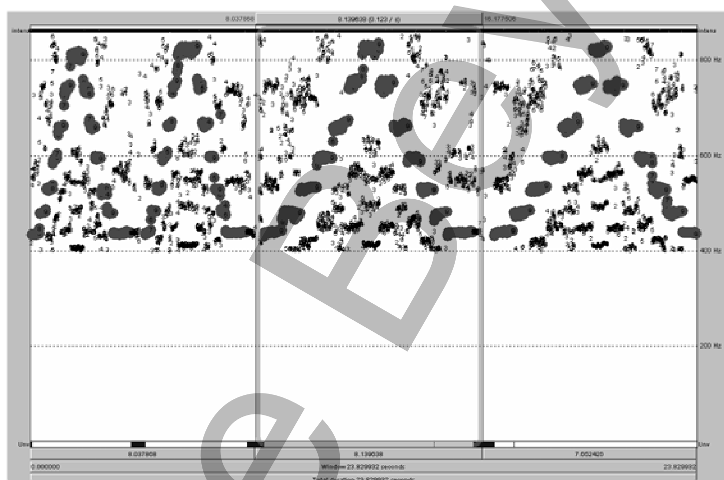


Figure n° 2. Sélection de la troisième « échelle » au sein de la fenêtre « Edit Pitch » du relevé fréquences/temps, bombarde « copie Karnak » jouée par Jorj Botuha – piste CD n° 10.

[43] Commandes « Sound left > Periodicity > To pitch », avec un pas de 1/100e de seconde, et mise des bornes de fréquence à 400 et 850 Hz ; ceci est cependant et peut-être une restriction trop drastique pour les analyses plus complexes, surtout pour repérer les phénomène de « quintoiement » ou d'octaviation des instruments à vent : une règle simple, pour ce genre d'analyse, est de diviser la valeur de la borne inférieure par deux et d'arrondir à la dizaine inférieure, et de multiplier celle de la valeur supérieure par 2 également et d'arrondir à la centaine (cinquantaine) supérieure.

[44] Commande « Pitch left > Edit » ; la procédure de sélection s'effectue par une opération simple de click gauche de souris à partir de la gauche de la zone (8 secondes), et d'étirement vers la droite de la zone sélectionnée jusqu'à la valeur de temps désirée (16 secondes) puis par la commande « View > Zoom to selection » ou, pour plus de précision dans la sélection, par la commande « View > Zoom … > (bornes exactes à renseigner) ».

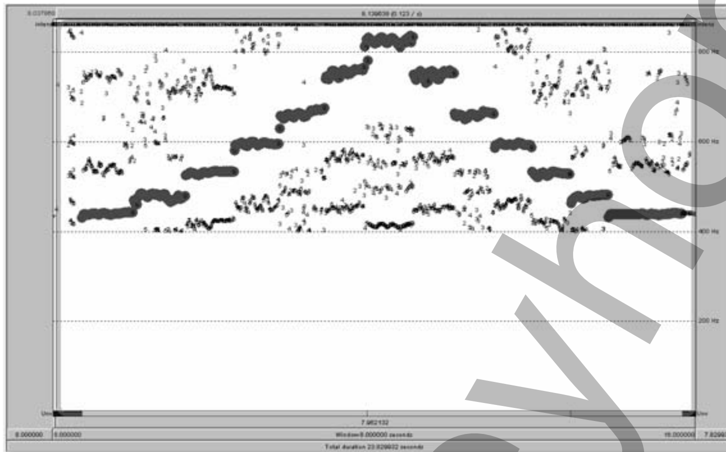


Figure n° 3a. Fenêtre d'édition de l'extrait du relevé fréquences/temps, bombarde « copie Karnak » jouée par Jorj Botuha – piste CD n° 10 [45].

À ce stade [46], l'analysant a le choix entre une analyse détaillée, segment par segment, du tracé fréquence/temps, ou à une analyse globale par comparaison avec une grille intervallique quelconque. Vu la régularité du relevé (« échelle ») et la relative stabilité des degrés, l'analyse choisie ici sera une analyse globale, pour essayer de déterminer rapidement les subdivisions de l'échelle. Pour ce faire, nous devons passer par une « transposition » (une transformation homothétique) des fréquences relevées sur une « fondamentale » de 100 Hz [47], d'où la nécessité de déterminer, au préalable, la « fondamentale » (en fait tout simplement le degré le plus bas mesuré) de notre bombarde. Le choix ici doit se porter sur le segment le plus stable (ligne horizontale), soit la dernière portion (située approximativement entre 14,8 et 16 secondes), et en sélectionnant cette zone

[45] Commande « Pitch left > Edit » avec mise des bornes de fréquence à 400 et 850 Hz, et de temps à 8 et 16 secondes.

[46] On ne saurait trop insister, ici, sur la nécessité d'une réécoute de l'extrait, à partir du résultat de l'algorithme de détermination de la fréquence fondamentale, et de le comparer à l'original : *Praat* permet cette écoute en « hum » (la traduction la plus proche correspondrait à « bourdonnement ») ou en « pulse » (« impulsion »), en sélectionnant (dans la fenêtre *Praat objects*) le résultat du calcul (« pitch left » ou « pitch right » au choix pour un extrait non différencié spatialement) et en cliquant sur « play » ; pour réécouter l'original et effectuer une comparaison, il suffit de re-sélectionner l'objet « sound left » ou « sound right », et de cliquer également sur « play ».

[47] Cette restriction est imposée par le logiciel, et ne fait pas partie de la méthodologie en tant que telle.

puis en l'agrandissant[48] (figure 3b), nous pouvons nous rendre compte que la « fondamentale » choisie est remarquablement stable ; dans ce genre de cas de figure, il suffit d'éviter les transitoires d'attaque et d'extinction, de repérer le segment central ou la portion la plus stable en son sein, et de délimiter le segment de mesure au sein de cette portion (partie sélectionnée en figure 3b)[49], et de mesurer la moyenne[50] des mesures au sein de ce segment (pour plus de fiabilité). Le calcul de la moyenne (437,82 Hz) confirme notre première estimation « grossière » de la fréquence de la fondamentale (437 Hz).

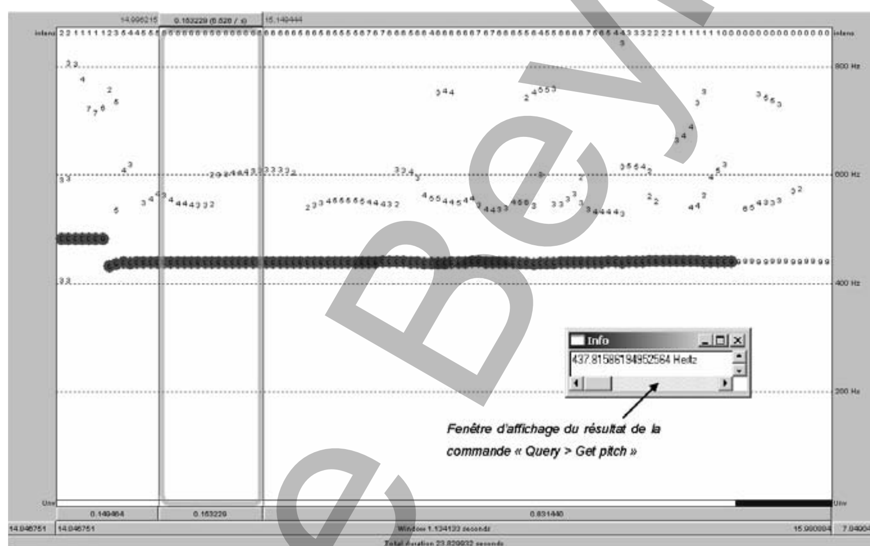


Figure n° 3b. Représentation de la portion comportant le son « fondamental » choisi – pistes CD 11 (sélection)[51].

À partir de là, et la transformation homothétique effectuée[52] (figure 4), nous pouvons redessiner ce relevé sur fond d'une grille en demi-tons (figure 5) : une

[48] Command « View > Zoom … > (fixation des bornes entre 7,18 secondes et 7,72 secondes) ».

[49] En ayant soin de vérifier que la forme de la courbe (vérifiée pratiquement par une tangente « vectorisée ») est approximativement la même au début et à la fin du « segment » choisi – voir figures n° 13, 17 et 18.

[50] Commande « Query > Get pitch », la section à « moyenner » devant être sélectionnée au préalable.

[51] Commandes « View > Zoom to selection » dans la fenêtre créée avec la commande « Pitch left > Edit ».

simple observation visuelle permet de nous rendre compte que les 2e, 3e, 4e et 6e degrés de l'échelle ne correspondent ici que très imparfaitement à la grille en demi-tons.

Une représentation sur grille en quarts de ton (figure 5b) permet de se rendre compte que les 4 premiers degrés de l'échelle représentent approximativement l'aspect *zalzalien*[53] *bayāt*, composé de deux secondes « neutres » (à peu près trois quarts de ton soit délimitées, sur le graphique, à 1,5 et 3 demi-tons) suivies d'un intervalle valant un ton, avec une quarte légèrement augmentée, une quinte relativement juste, une sixte située approximativement à 5/4 de tons au dessus de la quinte, avec un septième degré placé à un demi-ton au dessous de l'octave.

Il est peut-être utile de signaler ici que la gamme mesurée sur place avec un clavier-arrangeur EM 50 – OR, avec une écoute commune avec le musicien après enregistrement, avait été approchée à une fondamentale de 438.7 Hz, et des intervalles ascendants valant successivement 165, 175, 190, 180, 224, 182, et 88 cents, soit un total de 1204 cents à l'octave. Ces résultats ne sont pas trop éloignés de ceux de la figure 5, ce qui confirmerait que des oreilles exercées peuvent, avec l'aide d'un instrument à diapason et tempérament variables, approximer assez précisément des intervalles stables comme ceux de cette échelle.

[52] Cette transformation se fait par division de la fréquence de la nouvelle fondamentale (100 Hz) par les fréquences relevées, opération qui correspond à repositionner toutes les hauteurs à partir d'une fondamentale à 100 Hz. Commande (fenêtre *Praat objects*) « Sound Left > Modify > Formula (dans ce cas précis : "self" * 100/437.82) »

[53] Les intervalles *zalzaliens*, de Manṣūr Zalzal, (Abou Mrad, 2005, p. 772) *'ūdiste* de la seconde moitié du VIIIe siècle, qui aurait été le premier à « placer » une « ligature » [plusieurs écrits anciens font supposer que ces « ligatures » étaient de simples marques sur la touche du *'ūd* (Erlanger 1938, p. 111 : « Les ligatures sont des marques faites sur le manche des instruments à cordes »)] matérialisant des intervalles sortant du cadre diatonique et correspondant aux « secondes neutres », de valeur approximativement égale à trois quarts de ton, contenues dans le tétracorde de base de la musique arabe ; ce dernier est décliné sous les trois formes T – J_1 – J_2 (ton, 1e « seconde neutre » *mujannab*, 2e « seconde neutre », avec J_1 légèrement différent de J_2), J_1 – T– J_2, et J_1 – J_2 – T ; l'indice bas pour les « secondes neutres » ne les identifie pas (comme ayant une valeur fixe), mais sert à les différencier comme ayant des valeurs inégales (pour éviter une référence à la valeur uniforme de ¾ de ton qui leur est attribuée dans les théories contemporaines du *maqām*), variables selon les modes et les musiciens. Par extension, l'adjectif *zalzalien* s'applique à tous les intervalles sortant du cadre diatonique strict, notamment la seconde « légèrement augmentée » (de valeur approximative 5/4 de ton) du tétracorde *ḥijāz*, ou à tout intervalle correspondant approximativement à un multiple impair du quart de ton (tierces, quartes, quintes etc. « neutres » ou « légèrement augmentées » [ou « diminuées »]) que l'on retrouve dans la littérature spécialisée.

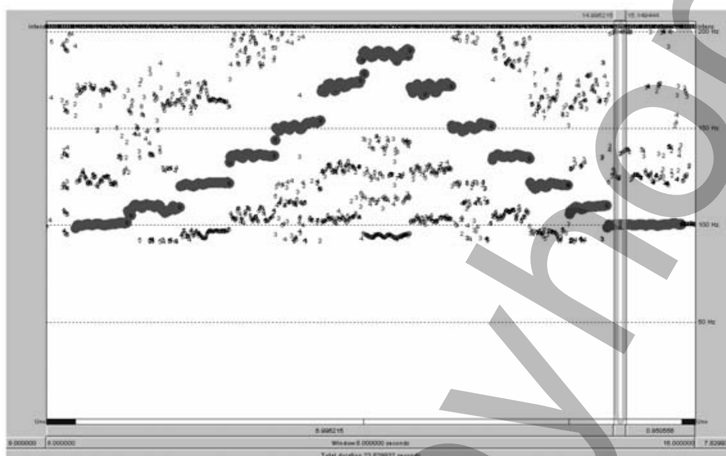


Figure n° 4. Fenêtre d'édition de l'extrait du relevé fréquences/temps après transformation homothétique avec fondamentale à 100 Hz [54]**.**

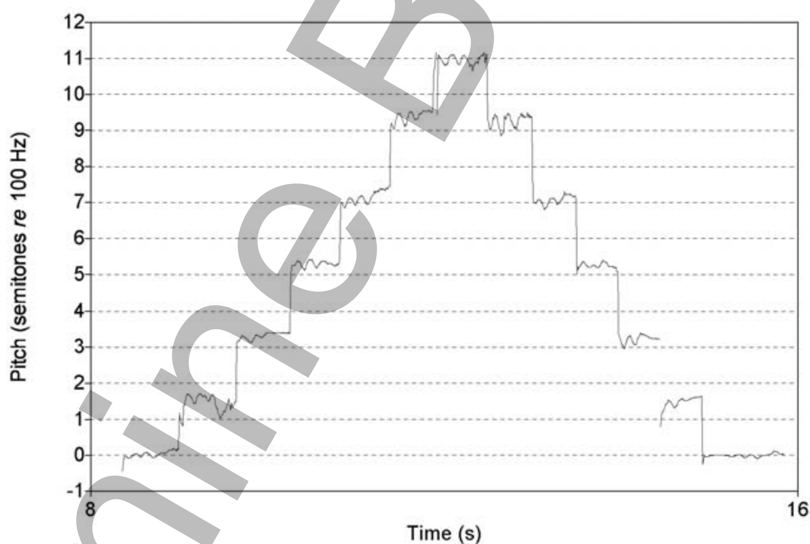


Figure n° 5a. Graphique de l'extrait du relevé fréquences/temps sur grille en demi-tons [55]**.**

[54] Le plafond (« ceiling ») a été, pour la clarté de l'exposé, mis à 200 Hz pour cette figure : commande « Edit > Change ceiling (200) ».

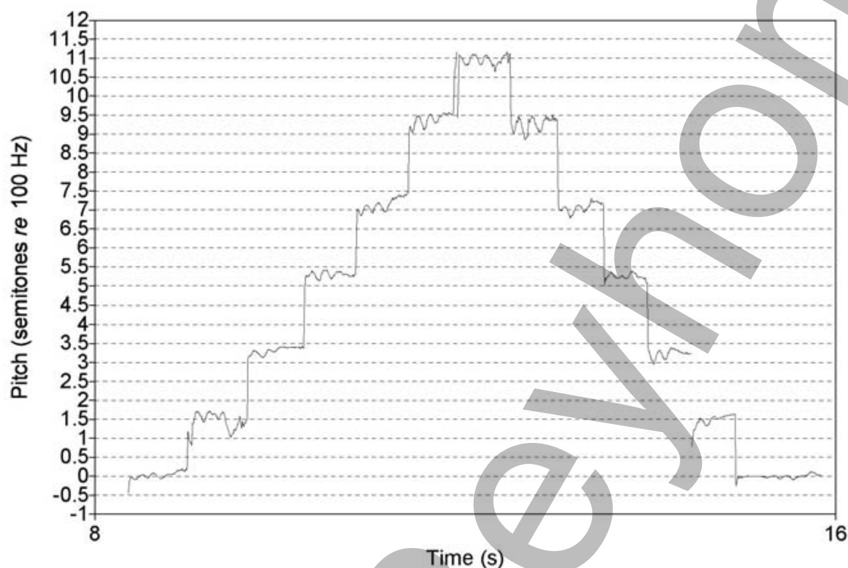


Figure n° 5b. Graphique de l’extrait du relevé fréquences/temps sur grille en quarts de ton (unités en demi-tons)[56].

Bien évidemment, cet exemple est simple, les notes étant bien détachées et le vibrato relativement réduit. Une deuxième analyse est proposée, sur un extrait du même musicien, sur la même bombarde, cette fois-ci « en jeu normal », sur un extrait de *Paotred er gueù à bleuigner*[57]. L’aspect global de la courbe fréquence/temps est reproduit en figure 6.

[55] Commandes « Draw > Semitones > (bornes de temps fixées à 8 et 16 secondes, bornes de “fréquence” entre -1 et 12 demi-tons) » puis, au sein de la fenêtre *Praat picture* « Margins > Marks left every (Units = 1, Distance = 1) » : les bornes de « fréquence » ont été choisies de manière à obtenir un remplissage optimal du plan du graphique, soit un demi-ton en dessous et en dessus des fréquences extrêmes observées ; le quadrillage horizontal s’obtient par la deuxième série de commandes, en assignant à l’unité la valeur d’un demi-ton et en faisant dessiner les lignes-tirets horizontales pour toutes les unités.

[56] Au sein de la fenêtre *Praat picture*, obtenue de la même manière que pour la grille en demi-ton, « Margins > Marks left every (Units = 1, Distance = 0.5) », soit en assignant à l’unité la valeur d’un demi-ton et en faisant dessiner deux lignes-tirets horizontales par unité (ou toutes les moitiés d’unités, soit tous les quarts de ton).

[57] Réf. : 19Paotred_er_gueù_à_bleuigner_JB_(19)_CopieEnLa(Karnak)_JB_13_12_2003.wav

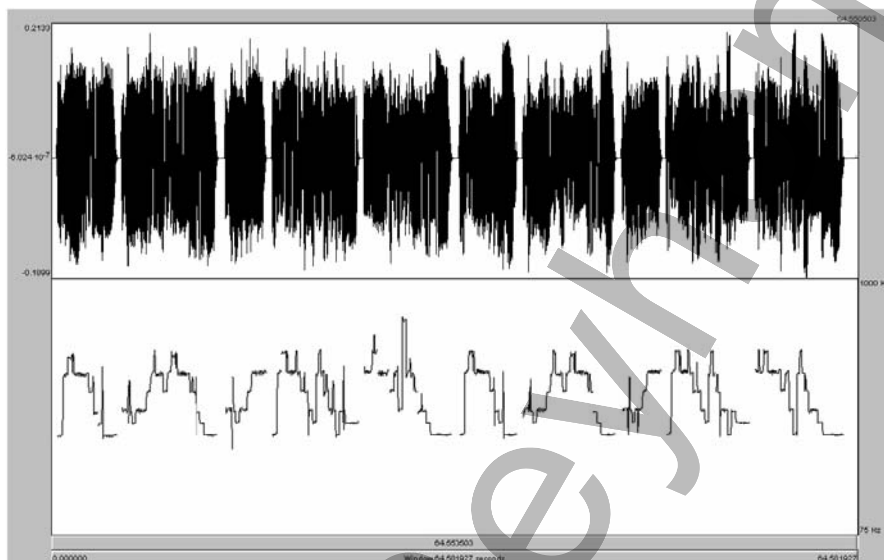


Figure n° 6. Relevé fréquences/temps, bombarde « copie Karnak » jouée « en situation » par Jorj Botuha – piste CD n° 12 [58].

Pour ce morceau, nous nous concentrerons sur la quatrième phrase musicale, avec une tranche temporelle comprise entre 17,5 et 25 secondes de l'extrait original (fig. n° 7).

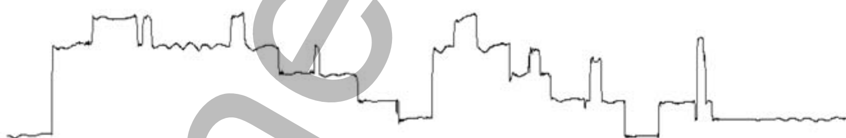


Figure n° 7. Relevé fréquences/temps, bombarde « copie Karnak » jouée « en situation » par Jorj Botuha – extrait, piste CD n° 13 [59].

Ce relevé, après un traitement similaire à celui décrit pour la figure n° 4 (transformation homothétique), situe les degrés, sur grille de demi-tons, comme reproduit dans la figure n° 8 [60].

[58] Commande « Stereo left > Edit ».

[59] De 17.5 à 25 secondes.

[60] Analyse sur l'extrait non transformé entre 400 et 800 Hz (pour éliminer les phénomènes de quintoiement et d'octaviation), avec un pas de temps de 1/1000e de seconde (pour la précision de l'analyse).

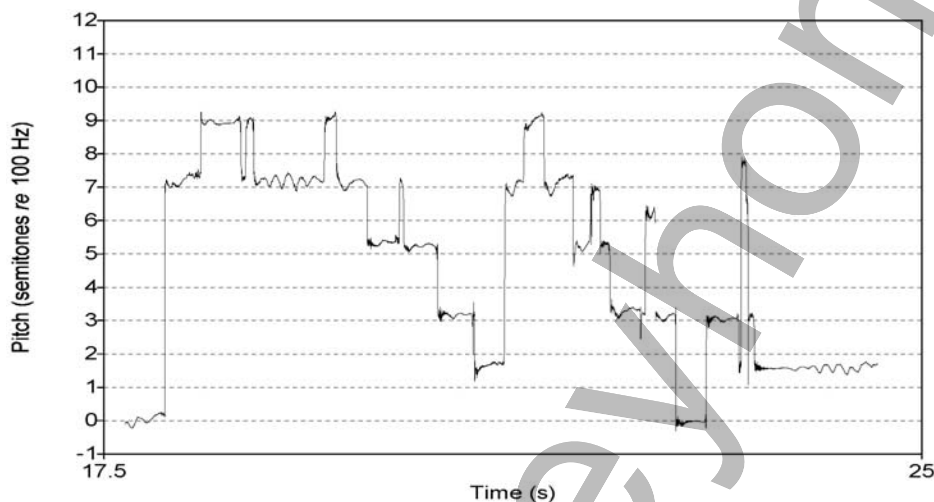


Figure n° 8. Graphique de l'extrait du relevé fréquences/temps sur grille en demi-tons[61].

Nous pouvons facilement observer, sur ce graphique, que si les quartes (« 5 » demi-tons) et les quintes (« 7 » demi-tons) sont relativement « justes » (en fait légèrement « larges »), et que la sixte est « diatonique » (« 9 » demi-tons), la seconde, par contre, sort nettement de ce cadre et correspond clairement à une seconde « neutre » de type *zalzalien* (figure n° 9)[62] ; l'aspect *bayāt*[63] du tétracorde *zalzalien* paraît également être confirmé ici.

À partir de ces premiers résultats, nous nous rendons compte que, pour une analyse globale de l'échelle utilisée, cette méthodologie est suffisante dans le cas de jeu d'instruments à notes relativement stables et détachées.

[61] Rappel : commandes « Draw > Semitones > (bornes de temps fixées à 17.5 et 25 secondes, bornes de "fréquence" entre -1 et 12 demi-tons) » puis, au sein de la fenêtre *Praat picture* « Margins > Marks left every (Units = 1, Distance = 1.) ».

[62] Il faut noter que cet arrêt sur le deuxième degré *zalzalien* (ou du moins « légèrement diminué ») parait être fréquent en musique bretonne, et fera l'objet d'une analyse approfondie pour le dossier complémentaire prévu, concernant notamment la validation statistique d'un répertoire.

[63] Soit J – J – T, soit deux tierces « neutres » (approximatives) suivies par un intervalle valant un ton.

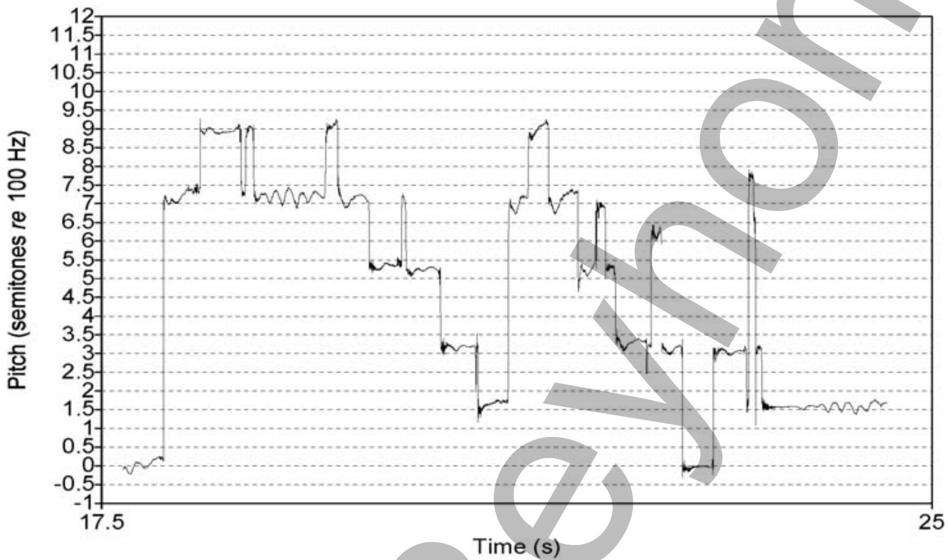


Figure n° 9. Graphique de l'extrait du relevé fréquences/temps sur grille en quarts de ton [64].

2.2 Analyses « générales »

Dans le cas d'analyses plus générales encore, par exemple le suivi de la courbe d'évolution de la fondamentale en cas (le plus fréquent) de séquences vocales répétitives, la première étape peut suffire, avec une résolution temporelle suffisante, comme par exemple sur l'exemple suivant d'un chant breton par Jean-Marie Long et Pierre Fer [65]. Dans ce chant, la mesure exacte des hauteurs est rendue difficile de par le recoupement des voix des deux chanteurs à certains passages (tuilage *Kan ha diskan*), mais également par le bruit de pas accompagnant le chant, décelables dans les brusques descentes vers les fréquences basses (figures 10a et 10b).

L'état de l'enregistrement (ancien) avec une forte présence de fréquences « résiduelles » (enregistrement sur bande) ne permet pas, pour nous, une analyse très détaillée des intervalles, l'analyse globale étant la seule recommandée

[64] Même procédure qu'en demi-tons, avec « Margins > Marks left every (Units = 1, Distance = 0.5) ».

[65] Enregistrement gracieusement fourni par Erik Marchand, de sa collection personnelle, août 2006.

dans ce genre de cas [66] ; certaines analyses de détail seront néanmoins abordées ici, à titre d'exemple.

Ce chant est composé de douze couplets de forme AABB (figure 11), le premier et les deux derniers couplets étant des « tralalas ». Les deux phrases de forme A se terminent sur le 2e degré de l'échelle utilisée, les deux derniers (de forme B) sur le premier degré. Nous pouvons par ailleurs facilement remarquer sur la figure précédente une élévation régulière des fréquences avec le temps. L'évolution de la fondamentale avec le temps (ligne rajoutée sur la figure 10) s'effectue de manière quasi-linéaire.

Une mesure ponctuelle, puis « moyennée » (sur le segment central, en évitant les transitoires d'attaque et d'extinction) de la première « tonique » (premier degré de l'échelle approximativement relevée, soit le degré le plus bas de la première phrase B) permet de la situer approximativement, en fréquences (figure 12), à 215 Hz.

La même procédure, appliquée à l'avant-dernière phrase B (figure n° 13 – uniquement la « moyenne ») permet de nous rendre compte que la fréquence de la fondamentale s'est élevée jusqu'à approximativement 248 Hz, soit une différence de 33 Hz environ et d'à peu près 250 cents [67] (à cinq cents près).

[66] Et en l'état actuel de la technologie disponible.

[67] Soit l'équivalent de cinq quarts de ton.

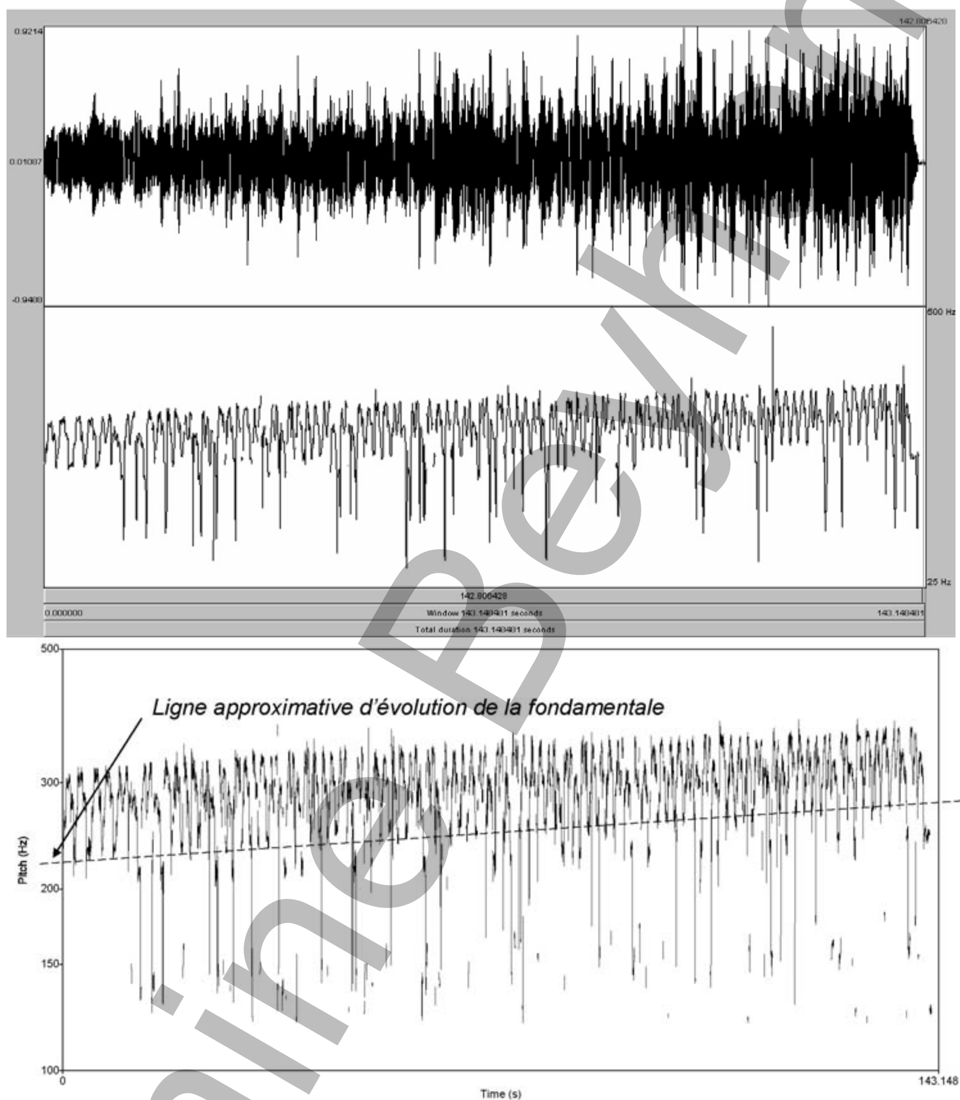


Figure n° 10a (haut) / 10b (bas). Fenêtre et graphique du relevé fréquences/temps d'un chant par Jean-Marie Long et Pierre Fer [68] – piste CD n° 14.

[68] Commandes « Stereo left > Edit » pour la figure 10a.

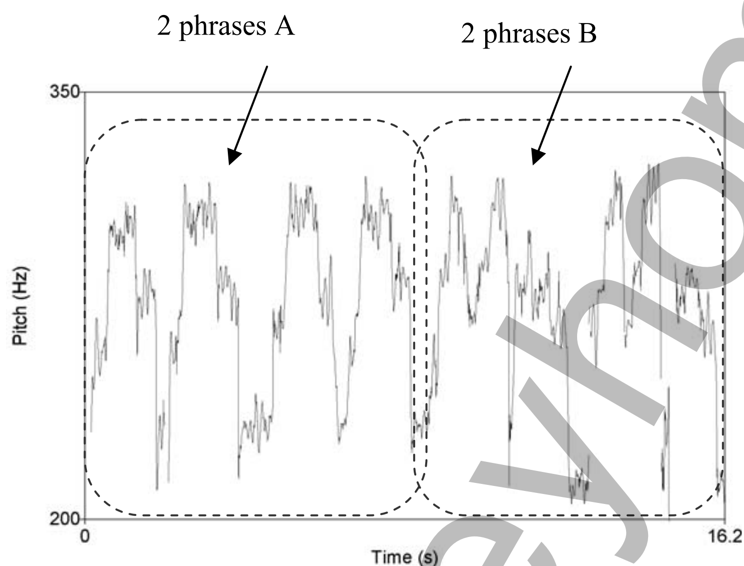


Figure n° 11. Forme du relevé fréquences/temps du premier couplet d'un chant par Jean-Marie Long et Pierre Fer[69] – piste CD n° 15.

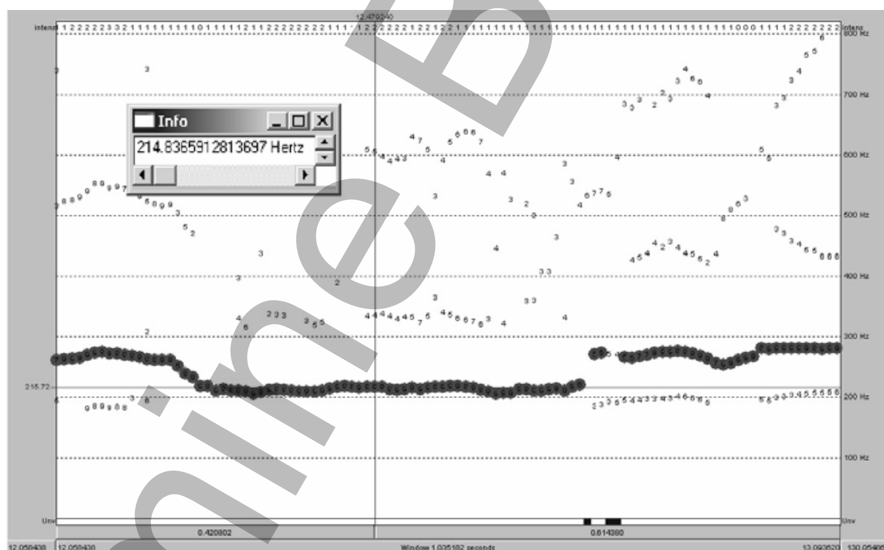


Figure n° 12. Mesures de la 1e « tonique » d'un chant par Jean-Marie Long et Pierre Fer[70] – piste CD n° 16.

[69] Entre 0 et 16, secondes.

[70] Entre 12,58 et 13,93 secondes.

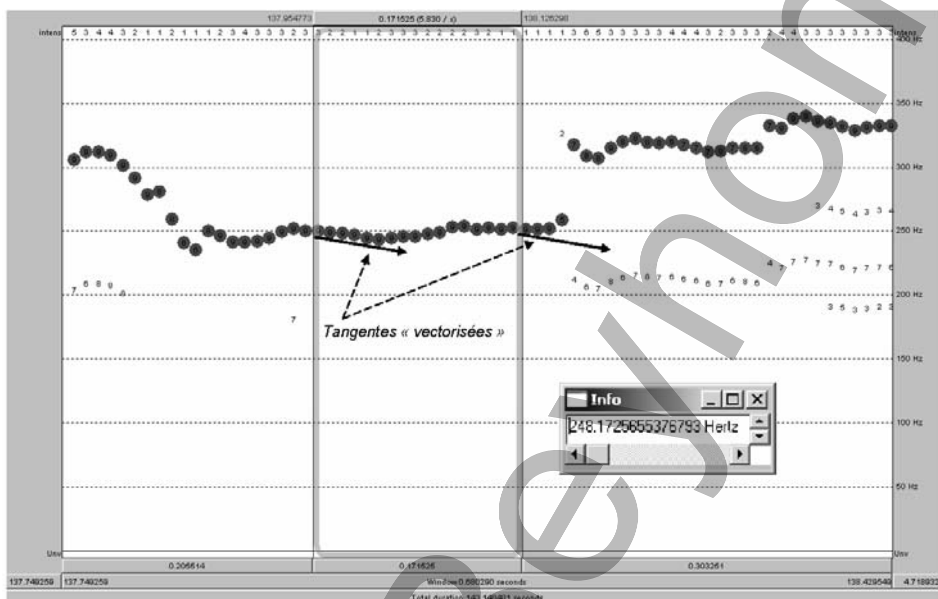


Figure n° 13. Mesure moyennée [71] de l'avant-dernière « tonique » d'un chant par Jean-Marie Long et Pierre Fer – piste CD n° 17 [72].

La mélodie qui, au début de l'enregistrement disponible, démarre sur un *la*^{b}, suit très approximativement les degrés du l'aspect diatonique « majeur », encore qu'un relevé détaillé de la première phrase B (figure 14) suggère un « rétrécissement » possible du pentacorde de base, et montre une variabilité certaine des degrés, y compris de la quinte, avec une première seconde, en valeur absolue, quasi *zalzalienne* [73].

[71] Commande (après sélection de la zone dont on veut obtenir la fréquence moyennée) « Query > Get pitch ».

[72] Extrait audio de la fenêtre complète.

[73] La première seconde *zalzalienne* ne peut être certifiée ici à cause du rétrécissement constaté des intervalles, notamment de la quarte et de la quinte résultantes.

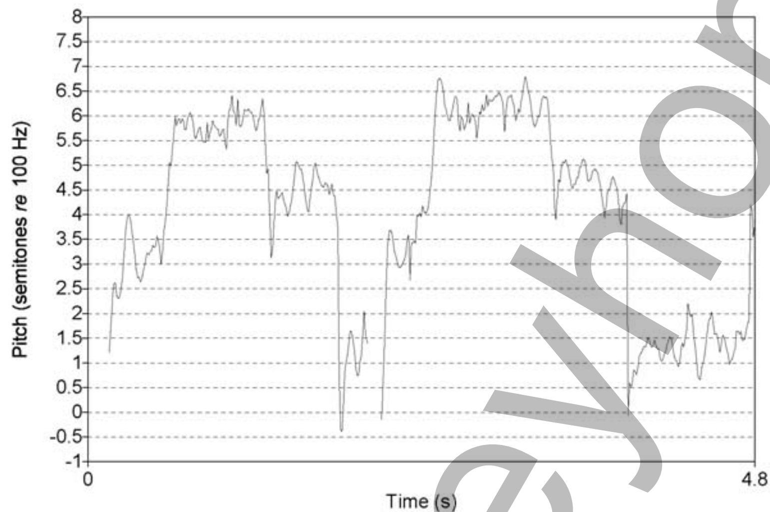


Figure n° 14. Relevé graphique du premier passage A, sur grille en quarts de ton (exprimée en multiples du demi-ton) d'un chant par Jean-Marie Long et Pierre Fer.

Ce rétrécissement, notamment de l'intervalle entre la « quarte » et la « quinte », est confirmé par le graphique des relevés fréquences/temps de l'avant dernière phrase A (figure 15) ; pour les deux graphiques, la « tonique » choisie est celle du passage B suivant.

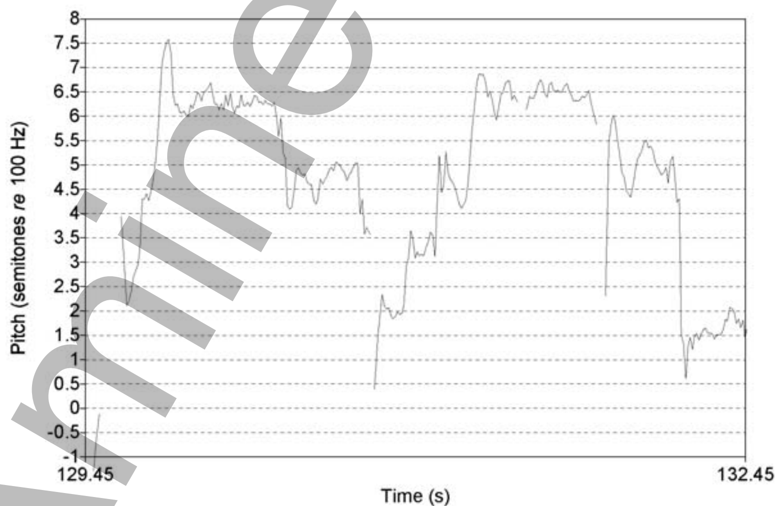


Figure n° 15. Relevé graphique de l'avant-dernier passage A, sur grille en quarts de ton (exprimée en multiples du demi-ton) d'un chant par Jean-Marie Long et Pierre Fer.

2.3 Exemple d'analyse « fine »

Dans l'exemple d'une autre bombarde jouée par Jorj Botuha[74], le relevé graphique de l'échelle « à vide », ramené à une fondamentale de 100 Hz et sur grille en quarts de ton, est représenté en figure 16a, et celui d'un morceau exécuté sur la même bombarde en figure 16b (sans traitement homothétique).

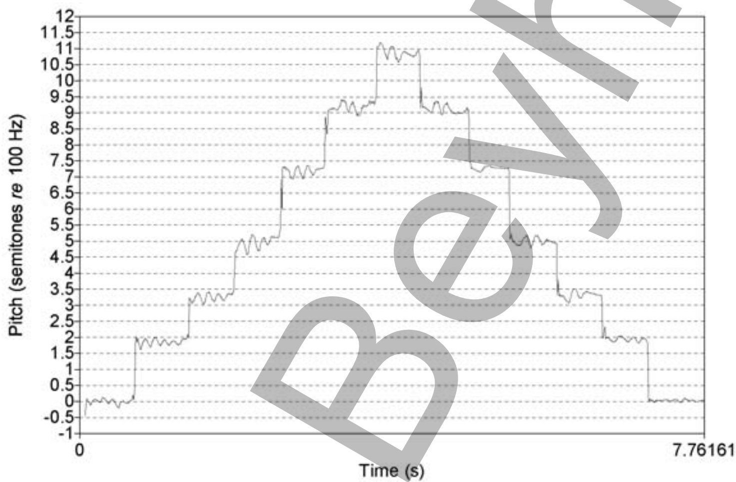


Figure n° 16a. Relevé graphique de l'échelle d'une bombarde du Morbihan (original en *la*)[75] – piste CD n° 18.

L'échelle « à vide » fait ressortir, surtout en descente, un aspect *zalzalien Rāst* (se rapprochant d'un aspect diatonique de *ré*) sur la fondamentale (en T – J – J), avec une quarte juste et une quinte légèrement augmentée[76].

La mesure de la tonique s'effectue sur le segment final (figure 17), en sélectionnant la partie avec vibrato de manière, par exemple, à inclure trois périodes complètes, relativement stables, avec une moyenne d'à peu près 449 Hz[77].

[74] Réf. : 22GammesAscDesc_JB_(22)_OriginalEnLa(1850)_JB_13_12_2003 (extrait dernière).wav. Bombarde datant de 1850 environ, selon le musicien, et provenant d'Aradon (Golfe du Morbihan - France).

[75] La fondamentale a été, au préalable, mesurée et moyennée à 448,90 Hz.

[76] L'« étroitesse » du premier intervalle T fait pencher la balance du côté *zalzalien* plutôt que du côté « diatonique ».

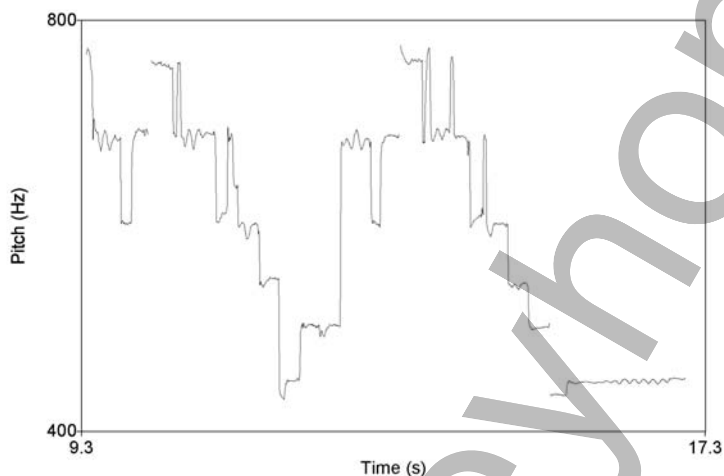


Figure n° 16b. Relevé graphique de l'extrait final de *Greis mad pier gali galan*[78] – piste CD n° 19.

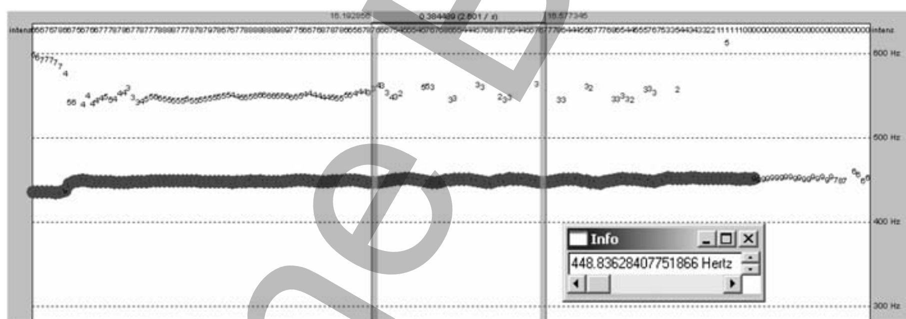


Figure n° 17. Mesure moyennée de la « tonique » de *Greis mad pier gali galan* – piste CD n° 20[79].

Cette méthode est assez sûre, puisque la réduction à une seule période (figure 18) donne quasiment le même résultat (à 448.84 Hz).

77 Estimée à 445,4 Hz sur place, en comparant (à l'oreille) avec le son d'un clavier-arrangeur EM 50 – OR (Roland).

78 Réf. : 21GreisMadPierGaliGalan_JB_(21)_OriginalEnLa(1850)_JB_13_12_2003 2e partie.wav (integral).

79 Pour l'extrait compris entre 15,455 et 17,291 secondes.

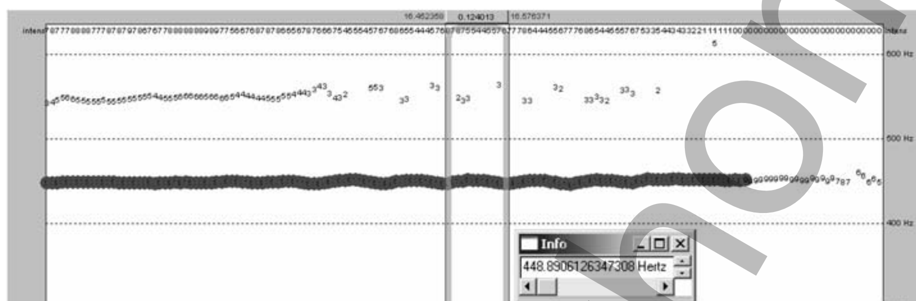


Figure n° 18. Mesure moyennée sur une seule période de vibrato de la « tonique » de *Greis mad pier gali galan*.

La différence entre les deux fréquences, calculée avec des fréquences précises au centième près, est inférieure à 0,2 cents.

Une moyenne sur un segment nettement plus large (figure 19), mais n'incluant pas les transitoires d'attaque et d'extinction (cette dernière étant ici imperceptible), permet de nous assurer que notre première mesure est acceptable dans les bornes d'erreur admises comme postulat (± 2,5 cents [80]), puisque le différentiel avec la première mesure à 448,836 Hz est inférieur à 0,6 cents (un cent en arrondissant).

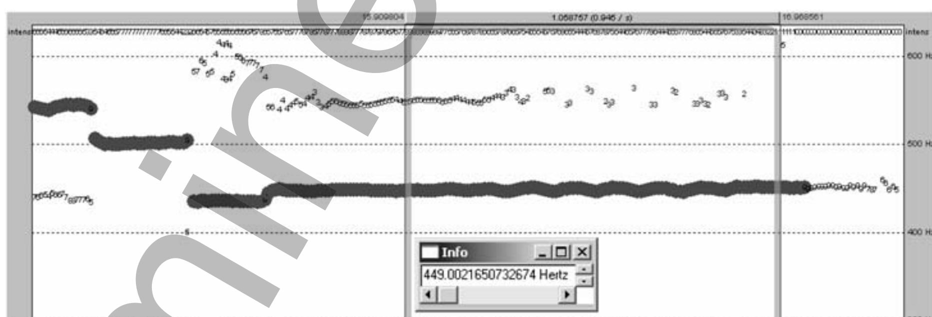


Figure n° 19. Mesure moyennée élargie de la « tonique » de *Greis mad pier gali galan*.

[80] « Sensibilité » de l'oreille humaine.

Par ailleurs, les fréquences individuelles, sur cette dernière portion moyennée, la plus basse et la plus haute relevées[81] valent 446,000 et 452,000 Hz[82] ce qui équivaut à un différentiel de 23,46 cents qui correspond *grosso modo* à l'amplitude du vibrato : cette dernière valeur est nettement trop élevée pour garder les mesures dans des bornes d'erreurs acceptables, d'où la nécessité d'un moyennage « intelligent », même pour des relevés relativement stables comme dans cet exemple[83].

Enfin, et ayant choisi pour cette analyse la valeur de 448,89 Hz comme fréquence de la « fondamentale », nous obtenons le graphique suivant (figure 20), qui confirme l'aspect *rāst* du tétracorde fondamental, avec une quarte juste, ainsi qu'une quinte haute suivie d'une seconde *zalzalienne*, particulièrement discernable en descente. Remarquons également l'« attaque » caractéristique de la tonique (située à « 0 » demi-ton), à un quart de ton en dessous de ce degré (« -0.5 »).

[81] Dans un ficher spécial créé par le programme par la commande « Pitch > Write > Write to text file », sur les « frames » 1590 à 1696, correspondant, pour un pas de 1/100e de seconde, à la section de temps mesurée (entre 15,90 et 16,96 secondes).

[82] Les trois chiffres après la virgule dans les fréquences précédentes ne sont pas la marque d'un goût excessif chez l'auteur pour la précision numérique, mais correspondent simplement à une reproduction fidèle des résultats figurant dans le fichier résultant de la commande « Write to text file ».

[83] Remarquons ici un phénomène bien connu des acousticiens ou des familiers du calcul logarithmique, qui est que la valeur absolue (et quantitative) d'un différentiel de fréquence n'est pas significative en tant que telle : c'est le rapport entre fréquences qui délimitent l'intervalle qui fournit la grandeur de l'intervalle suivant la formule $i_b = b\frac{\ln(R_i)}{\ln(2)}$, dans laquelle i_b est l'intervalle à calculer, b est la base (nombre de subdivisions égales dans l'octave – pour un calcul en cents → b = 1200) et R_i le rapport de fréquences des hauteurs bornant l'intervalle à calculer. Dans le cas de sons à très basse fréquence à 20 Hz, par exemple, le différentiel observé *supra* (résultant en 0,6 c.) à 0,054 Hz résulterait en un différentiel en cents équivalant à (approximativement) 5 cents (il est vrai inaudible pour des oreilles « normales », à cette fréquence) ; dans le cas de fréquences hautes, le différentiel observé *supra* (résultant en 23,46 cents) serait réduit, pour une fréquence en limite « basse » à 2000 Hz par exemple, à 5 (approximativement) cents également.

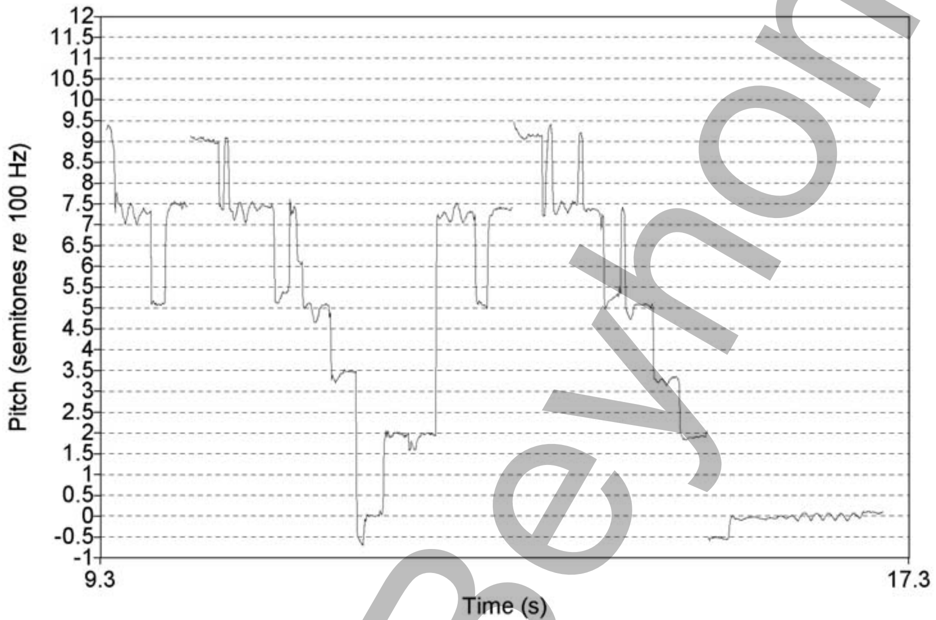


Figure n° 20. Graphique sur grille en quarts de ton (unités en demi-tons) de *Greis mad pier gali galan*.

2.4 Autres analyses « fines »

Une première analyse est proposée ici, sur un extrait de genre *ḥijāz* performé par Kudsi Erguner [84].

Dans une interview en mars 2005 [85], ce musicien et musicologue me faisait la démonstration du genre *ḥijāz*, avec, de préférence et selon l'enseignement des maîtres, une seconde « légèrement augmentée » (à 242 c., figure 1 – gauche), ainsi qu'une seconde augmentée exagérée (à 323 c., figure 1 – centre), à éviter dans la pratique musicale.

[84] Certaines caractéristiques de cette analyse ont été exposées dans l'article (Beyhom, 2007).

[85] Erguner, 2005, interview.

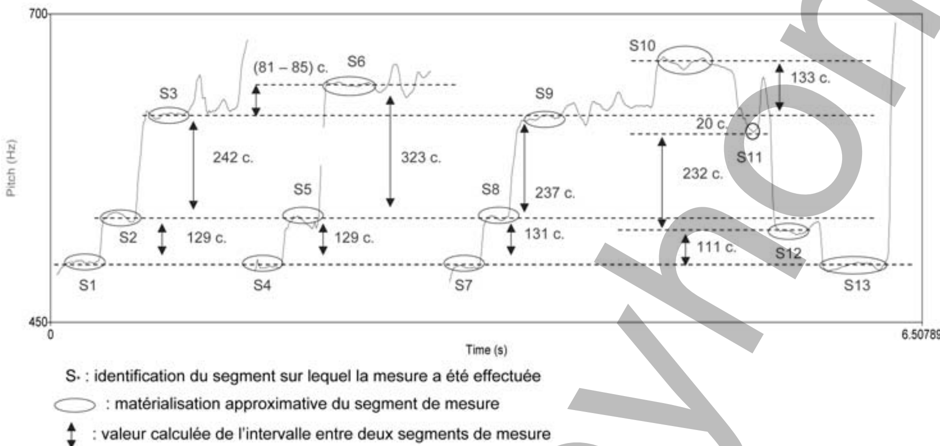


Figure n° 21. Nuances du genre *ḥijāz* – Kudsi Erguner [86] – piste CD n° 21.

Tableau n° 1 : nuances du genre *ḥijāz* – Kudsi Erguner [87]

Extrait	seg-ment n°	fréquence moyenne (Hz)	différence en cents	degré relatif I	diff. en quarts	degré relatif II	degré relatif III
Erguner - III	**1**	**498.92**	**-**	**si**	**-**	**si^{db}**	**ré**
	2	537.54	129	do^{+}	3↑	do	mi^{db}
	3	618.22	371	ré$^{\#}$	5↑	ré^{dd}	fa$^{\#}$
	4	**495.14**	**-**	**si**	**-**	**si^{db}**	**ré**
	5	533.33	129	do^{+}	3↑	do	mi^{db}
	6	642.86	452	mi^{db}	6↑	mi^{b}	sol^{db}
	<u>7</u>	**<u>493.91</u>**	**<u>-</u>**	**si**	**-**	**si^{db}**	**ré**
	8	532.80	131	do^{+}	3↑	do	mi^{db}
	9	611.01	368	ré$^{\#}$	5↑	ré^{dd}	fa$^{\#}$
	10	659.64	501	mi	2↑	mi^{db}	sol
	11	603.99	348	ré^{dd}	3↓	ré	fa^{dd}
	12	527.99	116	do	5↓	do^{db}	mi^{db}
	13	**495.31**	**5**	**si**	**2↓**	**si^{db}**	**ré**

86 Mesures effectuées sur un extrait de l'enregistrement d'origine, entre 2:55 et 3:01 minutes.

87 *mi^{db}, si^{db}, fa^{dd}, la^{dd}*, etc. ⇔ *mi demi-bémol, si …, fa demi-dièse, …* etc., soit un degré abaissé ou haussé d'un quart de ton environ.

Cette analyse a été effectuée selon la méthodologie exprimée *supra*, avec calcul des intervalles sur des portions moyennées pour chaque degré. Dans le relevé fréquence/temps de la version complète de ce tétracorde (seconde « augmentée » à 232 c., segments S7 à S13 sur la figure 21 - droite), nous remarquons une fluctuation des degrés (en l'occurrence le degré mi^{db} – en notation relative n° III dans le tableau n° 1, et le $fa^{\#}$) et celle, relative, de la seconde « augmentée » (237 c. et 232 c., contre 242 c. dans l'exemple de gauche) ; en descente, les deux degrés se rapprochent de la tonique, mais l'intervalle central reste pratiquement inchangé[88].

Sur un deuxième exemple de genre *ḥijāz*, performé sur *'ūd* par Ḥamdī Makhlūf[89] (figure 22), la tonique, très stable (car sur corde à vide du *'ūd*), peut être mesurée (moyennée) à 149,12 Hz.

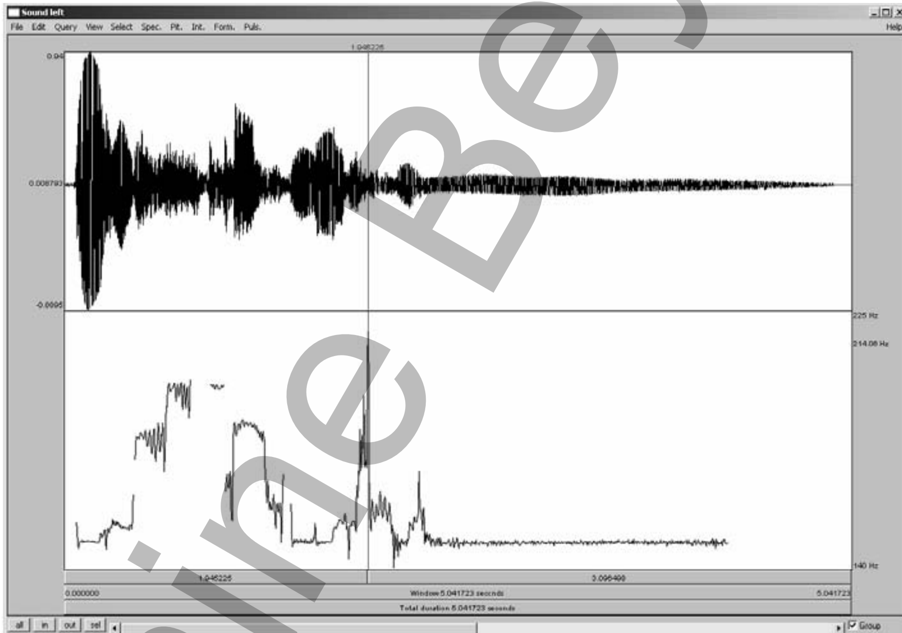


Figure n° 22. Genre *ḥijāz*, fenêtre « Stereo left > Edit » dans *Praat* – Ḥamdī Makhlūf[90] – piste CD n° 22.

[88] Cette fluctuation semble être d'ailleurs une constante de la musique arabe, comme nous le verrons pour l'exemple suivant.

[89] *'Ūdiste* tunisien, étudiant en musicologie à Paris IV - Sorbonne, et premier prix du conservatoire national de Sfax (Tunisie).

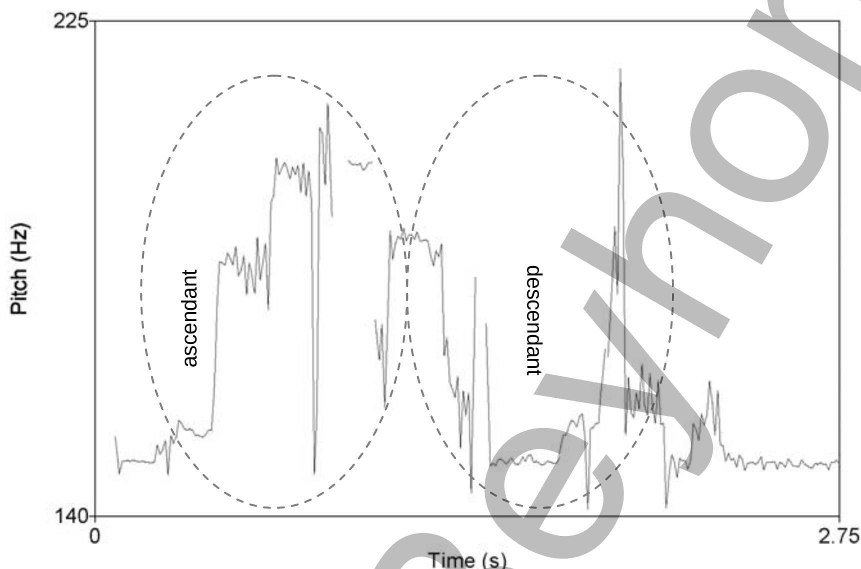


Figure n° 23a. Genre *ḥijāz*, graphique fréquences/temps - Ḥamdī Makhlūf[91].

Nous remarquons sur ce graphique une différence certaine entre intervalles et hauteurs en mouvements ascendant et descendant ; une première analyse sur grille de quarts de ton (figure 23b) confirme cette disparité.

La variabilité des intervalles utilisés en musique(s) arabe(s) est ici confirmée, avec un *ḥijāz* ascendant quantifiable en 1/4 (?) - 6/4 – 3/4 de ton, et descendant en 2/4, 5(6)/4, 3(2)/4 de ton[92]. Cette approximation est peu satisfaisante, notamment à cause du « ¼ » de ton ascendant, incompatible avec les théories disponibles du *maqām* ainsi qu'avec la perception graphique du degré (relativement) stabilisé. Une deuxième analyse, en 17es d'octave (figure 24), nous permet de mieux approximer ces intervalles.

Sur ce graphique, nous distinguons plus clairement les intervalles, notamment en « montée », qui correspondent à 1 – 4 et 2 multiples de 17es d'octave, et à 2 – 4 et 1 multiples de 17es d'octave (par ordre ascendant) en descente.

90 Enregistrement en date du 16 mars 2005 ; l'analyse a été effectuée avec un pas de temps de 1/100e de seconde, entre 140 et 225 Hz.

91 Réduit à une fenêtre de temps comprise entre 0 et 2,75 secondes pour la clarté de l'exposé.

92 Rappelons ici qu'une des formes théorique du tétracorde *ḥijāz* correspond à (en montée) 3/4, 5/4 et 2/4 de ton (Beyhom, 2007, *loc. cit.*)



Figure n° 23b. Genre *ḥijāz*, graphique fréquences/temps sur grille de quarts de ton (exprimée en multiples de demi-ton) - Ḥamdī Makhlūf[93].

Ces résultats correspondent peut-être à une première confirmation de la théorie de l'auteur sur les genres *ḥijāz* et *ḥijāz-kār* originels (Beyhom 2007, *id.*), selon laquelle le genre *ḥijāz*, traditionnellement performé sur *ré* en musique arabe, devait à l'origine suivre les degrés DŪKA (*ré*), SĪKĀ (≈ *mi*^{db}), *ḤIJĀZ* (≈ *fa*$^{\#}$) et *NAWĀ* (*sol*), et le genre *ḥijāz-kār* (traditionnellement sur *do*) les degrés *RĀST* (*do*), *ZĪRKULĀ* (≈ *ré*^{b}), *SĪKĀ* (≈ *mi*^{db}) et *JAHĀRKĀ* (*fa*).

[93] La reproduction des pas de temps (ici à 0,1 seconde) s'effectue, dans ce cas, par la commande « Margins > Marks top every > (Units = 0.1, Distance = 1) ».



Figure n° 24. Genre *ḥijāz*, graphique fréquences/temps sur grille en 17ᵉˢ d'octave - Ḥamdī Makhlūf [94].

La multiplicité des genres *ḥijāz* et *ḥijāz-kār* sur des appuis différents (*cf.* Beyhom, 2005) a probablement amené une confusion entre les deux genres qui, combinée avec la tendance à leur semi-tonalisation (Beyhom, 2007, *op. cit.*), fait que de nos jours la théorie en est actuellement « perdue » [95], mais que l'exécution originelle perdure, comme ici de manière alternée, dans la performance [96].

[94] La reproduction des pas de temps (ici à 0,1 seconde) s'effectue, dans ce cas, par la commande « Margins > Marks top every > (Units = 0.1, Distance = 1) ».

[95] Ces descriptions subsistent néanmoins dans des manuscrits arabes du XIXᵉ et XXᵉ siècles.

[96] Soit, en tenant compte de la remarque qui suit dans le texte, un *ḥijāz* débutant (en ascendant, lecture graphique de droite à gauche à partir du pas de temps « 17 ») par un « petit » intervalle, suivi par un intervalle « augmenté » puis par un intervalle « moyen » pour compléter la quarte, et un *ḥijāz-kār* débutant (en ascendant) par un intervalle « moyen », suivi d'un intervalle « augmenté » puis d'un « petit » intervalle complétant également la quarte.

Remarque : les subdivisions en 1 – 4 et 2 multiples de 17es d’octaves pour le genre ḥijāz*, par exemple, devraient être relativisées, ces nombres devant être considérés comme des repères qualitatifs, plus que quantitatifs : dans ce cadre, il y aurait 4* qualités *principales d’intervalles de seconde pour la musique arabe, un « petit » intervalle (un « petit » demi-ton, modélisé sur une grille en 17es d’octave comme valant une unité, ou « 1 »), un intervalle « moyen » (« 2 » 17es d’octave, soit l’équivalent d’une seconde « neutre »), un « grand » intervalle (« 3 » 17es d’octave, soit l’équivalent d’un ton) ainsi qu’un intervalle « augmenté » valant approximativement « 4 » 17es d’octave, soit l’équivalent approximatif de 5/4 de ton. Cette théorie a l’avantage d’éviter d’utiliser l’intervalle de quart de ton (non employé théoriquement, à part des exceptions confirmant la règle,* cf. *Beyhom, 2005) dans les théories arabes de la musique, et de reprendre la systématisation d’Urmawī (théoricien de la musique arabe du XIIIe siècle) en 17 intervalles à l’octave tout en tenant compte de l’aspect* zalzalien *de l’échelle générale arabe.*

Conclusion

La mesure d’intervalles de musiques monodiques traditionnelles permet, avec application de méthodologies relativement simples, de pratiquer des analyses d’échelles et de systèmes intervalliques ainsi que de vérifier des courbes d’évolution temporelle de degrés (par exemple une fondamentale) ; dans les cas plus complexes, cette méthodologie permet, avec un taux d’erreur apprécié à 5 cents, de suivre les modifications quasi instantanées des intervalles pratiqués, et de mieux appréhender la complexité de ces musiques. Nonobstant le fait que les quelques analyses proposées dans ce dossier ne font que refléter une sorte d’« état des lieux » des recherches propres de l’auteur [97], il devient évident, au vu de ces quelques analyses, que la notation « classique » ou « traditionnelle » des mélodies de ces musiques ne peut servir que comme un indicateur (très) approximatif de la musique réellement performée, des descripteurs supplémentaires devant être (ré-)utilisés (évolution de la fondamentale, rétrécissement ou élargissement homothétiques ou différenciés des intervalles, variabilité et fluctuations de ces derniers, etc.) [98] pour mieux en décrire la complexité. Il en ressort également une nécessité de ré-analyser le répertoire enregistré ou vivant traditionnel, notamment européen, ce dernier ayant été très probablement assi-

[97] Et dont le but, à travers cette publication, est de contribuer à favoriser l’enseignement systématique de ces procédures dans les cours d’ethnomusicologie.

[98] Mais également des analyses avec des divisions asymétriques de l’échelle, ainsi que des procédures de corrélation statistique, et de mesures d’écarts-types-moyens, outils que nous n’avons pas pu aborder dans ce premier dossier, destiné avant tout à une mise en perspective générale ainsi qu’à une première description par l’exemple de méthodologies à suivre pour les mesures d’intervalle.

milé à tort par certains « folkloristes » (et leurs successeurs) à un « diatonisme » quelque peu approximatif.

Bibliographie

The New Grove - Dictionary of Music and Musicians, 2001, 29 volumes, Stanley Sadie (éd.), London, Macmillan.

ABOU MRAD, Nidaa, 2005, « Échelles mélodiques et identité culturelle en Orient arabe », *Musiques. Une encyclopédie musicale pour le XXIe siècle,* vol. 3, Musiques et cultures, sous la direction de Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud, p. 756-795.

ABOU MRAD, Nidaa, 2007, « Compatibilité des systèmes et syncrétismes musicaux : une mise en perspective historique de la mondialisation musicale de la Méditerranée jusqu'en 1932 », *filigrane n° 5*, Paris, L'Harmattan.

BEYHOM, AMINE, 2003, *Systématique modale*, thèse de doctorat en trois volumes, Université Paris IV – Sorbonne, non publiée, Paris.

BEYHOM, AMINE, 2004, « Systématique modale : génération et classement d'échelles modales », *Musurgia XI/4*, Paris, ESKA.

BEYHOM, AMINE, 4[e] trimestre 2005, « Approche systématique de la musique arabe : genres et degrés système », *De la théorie à l'art de l'improvisation*, Mondher Ayari (éd.), Delatour, Paris.

BEYHOM, AMINE, 2007, « Des critères d'authenticité dans les musiques métissées et de leur validation : exemple de la musique arabe », *filigrane n° 5,* Paris, L'Harmattan.

BOERSMA, Paul, 1993, « Accurate short-term analysis of the fundamental frequency and the harmonics-to-noise ration of a sampled sound », *Proceedings of the Institute of Phonetic Sciences 17,* University of Amsterdam, p. 97-110.

CHAILLEY, Jacques, 1979, *La musique grecque antique*, Paris, Les Belles Lettres.

ERLANGER, Rodolphe d', 1938, *La musique arabe*, tome III : *Ṣafiyu-d-Dīṇ Al-Urmawī*, Paris, Librairie orientaliste Paul Geuthner.

EVANS, Tom & Mary Anne, 1979, *Le Grand livre de la guitare*, Paris, Albin Michel.

KINDĪ{ XE "Kindî (Al ~), Ya`qûb Ibn Isĥâq" }, (Ya‘qūb Ibn Isḥāq al-), 1965, *Risāla fīl-Luḥūn wan-Nagham*, commenté par Zakaria Yūsuf, Baghdad, Maṭba‘at Shafīq.

KHULA‘Ī, Muḥammad Kāmil { XE "Khula`î (Al ~), Muĥammad Kâmil" }al-, 1904 (R. 1993), *Kitābu-l-Mūsīqī Ash-Sharqī*, Le Caire, Maktabat Ad-Dār Al ‘Arabiya lil Kitāb.

LAGRANGE, Frédéric, 1994, *Musiciens et poètes en Égypte au temps de la Nahḍa*, Sorbonne-Paris 8, Paris, 924 pages. Thèse pour le doctorat présentée et soutenue publiquement sous la dir. de Jamel Eddine Bencheikh.

LINDLEY, Mark, 2001, « Temperaments », *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, vol. 25, Stanley Sadie (éd.), London, Macmillan, p. 248-268.

MATHIESEN{ XE "Mathiesen, Thomas J." }, Thomas J., 1999, *Appolo's Lyre*, University of Nebraska.

MATHIESEN{ XE "Mathiesen, Thomas J." }, Thomas J. (e.a.), 2001, « Greece », *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, vol. 10, Stanley Sadie (éd.), London, Macmillan, p. 327-359.

MEEÙS, Nicolas, 1977, « Renaissance Transposing Keyboard Instruments », *FoMRHI Quarterly [Fellowship of Makers and Researchers of Historical Instruments] 6* (janvier 1977), p. 18-26 ; *7* (avril 1977), p. 16-24.

MEEÙS, Nicolas, 1980, « Le diapason authentique : Quelques réflexions à propos du clavecin transpositeur des Ruckers », *La facture de clavecin du XVe au XVIIIe siècles (Musicologica neolovanensia studia 1)*, Louvain-la-Neuve, p. 79-87.

MEEÙS, Nicolas, 1986a, « Ruckers Doubles : the « Sixth Hypothesis », *FoMRHI Quarterly 42* (janvier 1986), p. 50-55.

MEEÙS, Nicolas, 1986b, « Happy Transposition ?!? », *FoMRHI Quarterly 44* (juillet 1986), p. 39-44.

MEEÙS, Nicolas, 1998, « The musical purpose of transposing harpsichords », *Kielinstrumente aus der Werkstatt Ruckers, Schriften des Händels-Hauses in Halle 14* (1998), p. 63-72 [Actes du Colloque international, Halle, septembre 1996].

TRANCHEFORT, François-René, 1980, *Les instruments de musique*, Paris, Seuil.

VITALE, Raoul, 1982, « La musique suméro-accadienne. Gamme et notation musicale », *Ugarit-Forschungen n° 14*, p. 241-263.

WEST, Martin, 2005, « La musique des grandes cultures de l'Antiquité », *Musiques. Une encyclopédie pour le XXIe siècle*, vol. 3, *Musiques et cultures*, Jean-Jacques Nattiez (éd.), Arles, Actes Sud, p. 182-203.

Webographie

La sirène de Cagnard de Latour :

http://mmd.foxtail.com/Pictures/havoSiren.html

http://www.lgl.lu/museedelaphysi/Sirene de Cagnard de Latour/Sirene de Cagnard.htm (accédé le 09/02/2007).

BEYHOM, Amine, « Une étude comparée sur les intervalles des musiques orientales », *Actes du colloque « Maqâm et création »*, Fondation Royaumont, Octobre 2005, http://www.royaumont.com/fondation_abbaye/fileadmin/user_upload/dossier_PDF/programmes_musicaux/COLLOQUE_MAQAM_ET_CREATION_OCTOBRE_2005.pdf., p. 18-24 (téléchargé le 19/11/2006).

GERHARD, David, *Pitch extraction and Fundamental Frequency: History and Current Techniques*, http://www.cs.uregina.ca/Research/Techreports/2003-06.pdf (téléchargé le 09/02/2007).

MEER, Wim van der, *Praat Tutorial for musicologists*, http://www.musicology.nl/WM/research/praat_musicologists.htm (accédé le 11/12/2006).

Discographie

BACÁN, Inés, *flamenco vivo - Soledad Sonora*, B6873 - AD 100.

Autres

Entretiens, enregistrements et interviews avec les compositeurs et/ou musicologues

Jorj Botuha, musicien et facteur d'instruments de musique, enregistré le 13 décembre 2003.

Kudsi Erguner, musicien et musicologue, enregistré le 17 mars 2005, Paris.

Ḥamdī Makhlūf, musicien et musicologue, enregistré le 27 mars 2004, Paris.

Erik Marchand, musicien et musicologue, plusieurs entretiens et séances communes de travail entre 1990 et 2006.**{** XE "**Liban"** **}**

Téléchargement de logiciels en accès libre

Audacity → http://audacity.sourceforge.net/, accès direct à l'exécutable à http://belnet.dl.sourceforge.net/sourceforge/audacity/audacity-win-1.2.6.exe (dernier téléchargement le 11/12/2006).

Praat → http://www.fon.hum.uva.nl/praat/, mis à disposition par l'*Institute of Phonetic Sciences*, http://www.fon.hum.uva.nl/, University of Amsterdam, Spuistraat 210, 1012VT Amsterdam, The Netherlands, accédé le 26/02/2003.

Scala → http://www.xs4all.nl/~huygensf/scala/, accédé le 11/03/2006.

Remerciements (Acknowledgments)

Les enregistrements ont été partiellement effectués par l'auteur avec un matériel aimablement fourni par le Séminaire d'Études en Ethnomusicologie de l'Université Paris Sorbonne – Paris IV (SÉEM-PS).

The *Praat* program version used for this article was developed by: Paul Boersma & David Weenink (2005) [Praat computer program: doing phonetics by computer (Version 4.0.49)]. Retrieved 26 march 2003 from http://www.praat.org/.

La version d'*Audacity* utilisée pour cet article est la version 1.2.6 ; la liste des contributeurs au développement du logiciel est accessible dans la fenêtre d'aide du logiciel, dans la rubrique « about ».

Scala : Copyright Manuel Op de Coul, 2006, coul@computer.org.

Annexes

Annexe I : Tests du logiciel Praat v. 4.0.49 avec des sons générés par les logiciels Scala 2.5 et Cool Edit 2.0, ainsi que le clavier arrangeur EM 50 – OR (Roland)

Présentation de Praat

Praat est un logiciel conçu par des chercheurs de l'université, pour des chercheurs en phonétique. Le terme *Praat* veut dire « voix » en néerlandais. Ce programme est un shareware comportant plusieurs options et une aide en ligne complète multi-fenêtre, et a l'avantage d'être ouvert, et non pas une « boîte noire » ; la version « testée » est la *4.0.49*[99].

Les départements contributeurs représentés sont des instituts de linguistique, d'ortho-rhinologie, de phonétique, de sciences cognitives et de psycholinguistique, ainsi que des institutions universitaires généralistes. Le code est ouvert, les sous-programmes supplémentaires peuvent être implémentés, et les valeurs par défaut sont toutes modifiables ; les algorithmes utilisés sont disponibles sous la forme d'une aide en ligne.

1er test : avec des sons « purs » générés par le logiciel Cool Edit v 2.0[100]

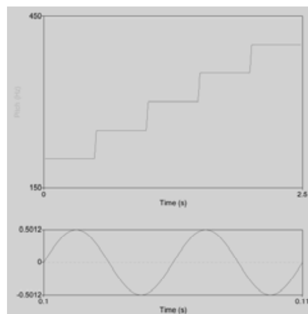
Les tests sont effectués :

- sur des sons « parfaits », sans déphasage,
- sur 4 intervalles égaux en différentiel de fréquence (aliquotes), à 50 Hz de distance, étagés de 200 à 400 Hz (une octave),
- en 3 configurations : son sinusoïdal « pur », son « carré » et son « triangulaire » (figures n° A1 à A3).

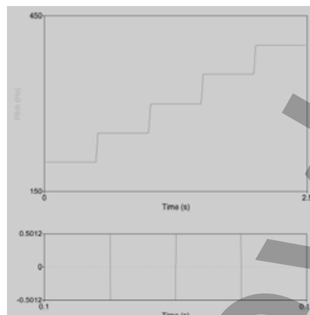
[99] Pour le téléchargement, voir en liste bibliographique.

[100] Disponible dans le commerce.

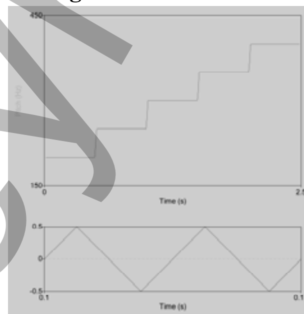
Figures n° A1a/A1b. Son sinusoïdal



Figures n° A2a/A2b. Son carré



Figures n° A3a/A3b. Son triangulaire



Figures n° A1a/A1b à A3a/A3b. Sonagrammes et graphiques fréquence/temps des trois types de son testés

- le pas (durée d'un son) choisi est de 0,5 seconde,
- le test est effectué sur les segments centraux de chaque intervalle (par exemple, 1er son de 0 à 0,5 s., test sur 0,1 à 0,4 s., avec moyenne sur le segment).

Les résultats sont exposés en tableau A1, les fréquences étant exprimées en Herz et les intervalles en cents : ils montrent que, pour des sons « purs » générés électroniquement, la réponse du programme dans la plage de 200 à 400 Hz (la plus fréquente) est remarquable, la différence maximale se situant à 1,17 cents pour le calcul de l'octave en son « carré ». Nous déduirons de ce premier test que la correspondance « théorique » des mesures d'intervalles par le logiciel *Praat* est d'ores et déjà avérée.

Tableau n° A1. Résultats des tests avec des sons « purs », pistes CD 23 (carré), 24 (sinusoïdal) et 25 (triangulaire)

4 equal proportions		square		Calcul						
données : pure square, no phase				intervalles calculés		mesures	intervalles Praat		"erreur"	
degré	cumulatif (en hz)	rapport cumulatif	rapport différentiel	cumulatif	différentiel	Praat	cumulatif	différentiel	|cumul.|	|diff.|
0:	200,00	1,00	1,00	0,00	0,00	200,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:	250,00	1,25	1,25	386,31	386,31	250,06	386,73	386,73	0,42	0,42
2:	300,00	1,50	1,20	701,96	315,64	300,00	701,96	315,23	0,00	0,42
3:	350,00	1,75	1,17	968,83	266,87	350,02	968,92	266,97	0,10	0,10
4:	400,00	2,00	1,14	1200,00	231,17	400,27	1201,17	232,24	1,17	1,07
4 equal		sine		Calcul						
données : sine wave, no phase				intervalles calculés		mesures	intervalles Praat		"erreur"	
degré	cumulatif (en hz)	rapport cumulatif	rapport différentiel	cumulatif	différentiel	Praat	cumulatif	différentiel	|cumul.|	|diff.|
0:	200,00	1,00	1,00	0,00	0,00	200,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:	250,00	1,25	1,25	386,31	386,31	250,06	386,73	386,73	0,42	0,42
2:	300,00	1,50	1,20	701,96	315,64	300,00	701,96	315,23	0,00	0,42
3:	350,00	1,75	1,17	968,83	266,87	350,02	968,92	266,97	0,10	0,10
4:	400,00	2,00	1,14	1200,00	231,17	400,00	1200,00	231,08	0,00	0,10
4 equal		triangle		Calcul						
données : triangular wave, no phase				intervalles calculés		mesures	intervalles Praat		"erreur"	
degré	cumulatif (en hz)	rapport cumulatif	rapport différentiel	cumulatif	différentiel	Praat	cumulatif	différentiel	|cumul.|	|diff.|
0:	200,00	1,00	1,00	0,00	0,00	200,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:	250,00	1,25	1,25	386,31	386,31	250,00	386,31	386,31	0,00	0,00
2:	300,00	1,50	1,20	701,96	315,64	300,00	701,96	315,64	0,00	0,00
3:	350,00	1,75	1,17	968,83	266,87	350,00	968,83	266,87	0,00	0,00
4:	400,00	2,00	1,14	1200,00	231,17	400,00	1200,00	231,17	0,00	0,00

Remarquons par ailleurs que les erreurs cumulatives peuvent se pondérer (exemple du son carré entre le premier et le deuxième intervalle) ou s'ajouter (*idem*, entre 3e et 4e degrés).

2e test : avec des sons midi synthétisés

Les sons ont été générés par le logiciel *Scala 2.5* (avec procédure de « pitch bend »).

Trois échelles et deux sons [101] ont été utilisés :

- une échelle equi-pentatonique, en son piano midi n° 1 (figures n° A4 et n° A6),
- une échelle equi-heptatonique avec le même son (figures n° A4 et n° A7),

[101] Générés par une carte audio sur la carte mère d'un ordinateur PC courant.

- une échelle hexatonique en multiples du quart de ton (354354) [102], avec un son de clarinette (n° 71, figures n° A5 et n° A8).

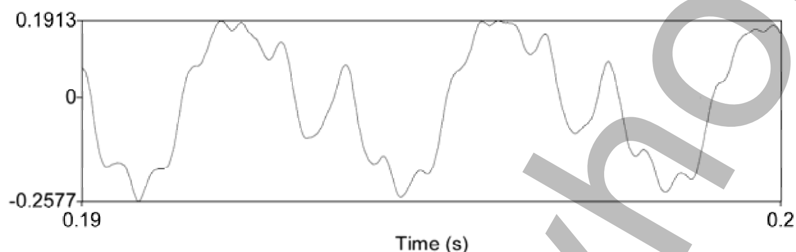


Figure n° A4. Sonagramme détaillé du son de piano midi (son *Scala* n° 1)

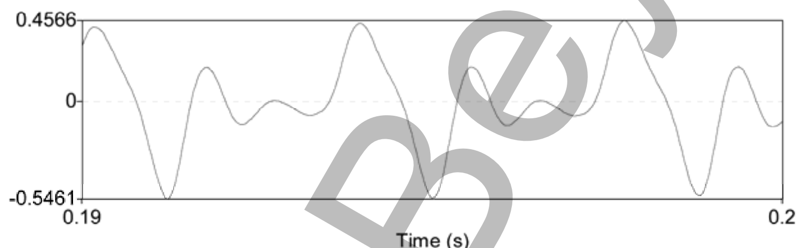
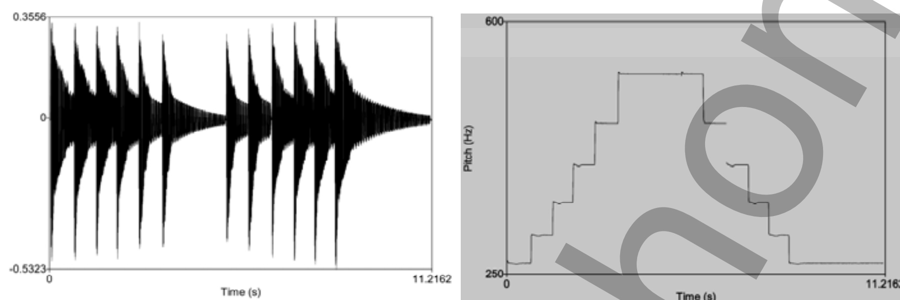


Figure n° A5. Sonagramme détaillé du son de clarinette midi (son *Scala* n° 71)

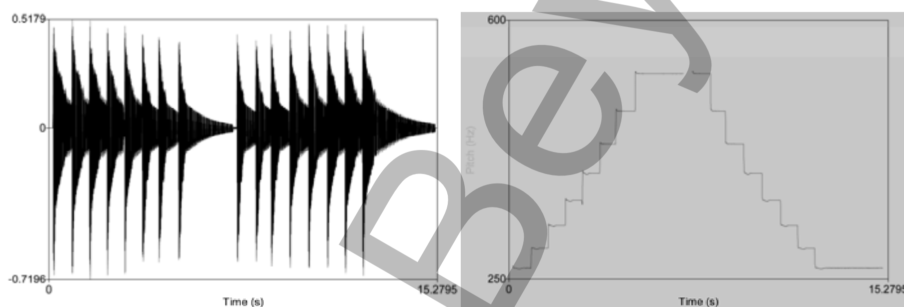
Les mesures ont été effectuées sur des segments stables de chaque degré de l'échelle, variables à chaque fois. Les résultats (tableau A2) montrent que les erreurs dans les deux cas (intervalles cumulatifs et intervalles différentiels) ne dépassent pas 5 %.

On remarque par ailleurs que les hauteurs nominales, même pour le son de base (*do* à 261,63 Hz), correspondent imparfaitement ; ici, les erreurs de mesure (*Praat*) s'additionnent aux erreurs de génération de son par la procédure midi – *pitch bend*, assez peu précise (*Scala*).

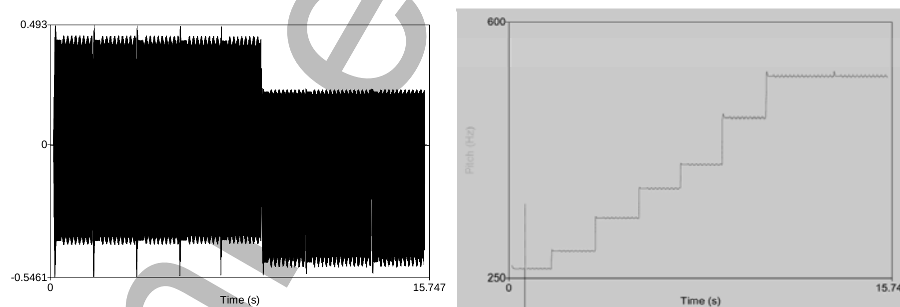
[102] Soit une échelle ascendante en 3 quarts de ton, puis 5 quarts de ton, puis 4 quarts de ton, etc.



Figures n° A6a et A6b. Échelle equi-pentatonique, avec un son de piano (sonagramme et graphique fréquences/temps) », piste CD n° 26



Figures n° A7a et A7b. Échelle equi-heptatonique en son piano midi n° 1 (sonagramme et graphique fréquences/temps), piste CD n° 27



Figures n° A8a et A8b. Échelle hexatonique en multiples du quart de ton (354354 – sonagramme et graphique fréquences/temps) avec un son de clarinette, piste CD n° 28

Tableau n° A2. Résultats des mesures avec des sons midi synthétisés

5 equal intervals			Calcul						
données scala ("do" == 261,6255653 hz, son piano n° 1)			ambitus		moyenne segment	intervalles Praat		"erreur"	
degré	cumulatif (en cents)	différentiel (en cents)	temps 1	temps 2	t1 à t2	cumulatif	différentiel	|cumul.|	|diff.|
0:	0,00	0,00	0,13	0,58	264,51	0,00	0,00	0,00	0,00
1:	240,00	240,00	0,8	1,28	303,64	238,85	238,85	1,15	1,15
2:	480,00	240,00	1,52	1,88	349,09	480,33	241,48	0,33	1,48
3:	720,00	240,00	2,16	2,52	401,11	720,81	240,48	0,81	0,48
4:	960,00	240,00	2,62	2,82	459,52	956,17	235,36	3,83	4,64
5:	1200,00	240,00	3056	5,04	527,49	1194,99	238,82	5,01	1,18

Procédure : lecture des deux sons (d, et g,) ; "periodicity to pitch" left sound

7 equal intervals			Calcul						
données scala ("do" == 261,6255653 hz, son piano n° 1)			ambitus		moyenne segment	intervalles Praat		"erreur"	
degré	cumulatif (en cents)	différentiel (en cents)	temps 1	temps 2	t1 à t2	cumulatif	différentiel	|cumul.|	|diff.|
0:	0	0	0,36	0,75	264,57	0,00	0,00	0,00	0,00
1:	171,43	171,43	1,24	1,52	292,32	172,68	172,68	1,25	1,25
2:	342,86	171,43	1,86	2,22	322,74	344,07	171,39	1,21	0,04
3:	514,29	171,43	2,61	2,87	356,45	516,06	171,99	1,77	0,56
4:	685,72	171,43	3,26	3,59	393,47	687,12	171,06	1,40	0,37
5:	857,15	171,43	3,94	4,21	432,52	850,94	163,82	6,21	7,61
6:	1028,58	171,43	4,62	4,93	477,31	1021,53	170,59	7,05	0,84
7:	1200	171,43	5,68	6,19	527,48	1194,56	173,03	5,44	1,60

Paramètres : 75 à 600 herz ; time step == 0,01 s

échelle 354354		(1/4 de ton)	Calcul						
données scala ("do" == 261,62,, hz, son clarinette n° 1)			ambitus		moyenne segment	intervalles Praat		"erreur"	
degré	cumulatif (en cents)	différentiel (en cents)	temps 1	temps 2	t1 à t2	cumulatif	différentiel	|cumul.|	|diff.|
0:	0,00	0,00	1,05	1,6	262	0,00	0,00	0,00	0,00
1:	150,00	150,00	2,25	3,29	286,97	157,60	157,60	7,60	7,60
2:	400,00	250,00	4,15	4,94	331,65	408,11	250,51	8,11	0,51
3:	600,00	200,00	5,93	6,81	372,16	607,63	199,51	7,63	0,49
4:	750,00	150,00	7,83	8,49	405,87	757,74	150,11	7,74	0,11
5:	1000,00	250,00	9,38	10,2	469,12	1008,47	250,73	8,47	0,73
6:	1200,00	200,00	11,44	12,7	526,65	1208,73	200,26	8,73	0,26

3[e] test : avec des sons numérisés générés par un clavier-arrangeur Roland EM 50 – OR

Le son choisi est celui d'un « Nay » ; les segments approximatifs mesurés (selon la méthodologie expliquée en corps d'article) sont montrés sur la figure n° A9.

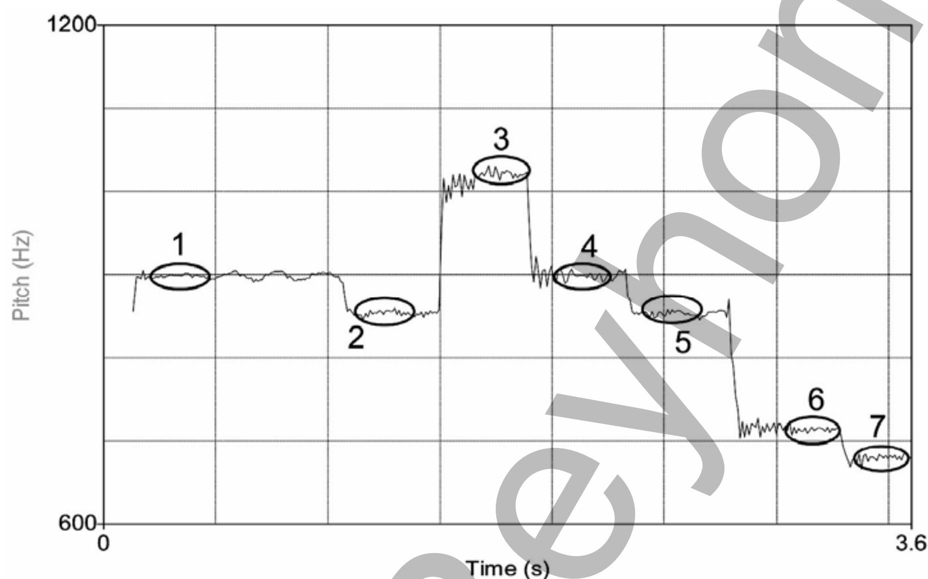


Figure n° A9. Relevé fréquence/temps d'un son de « Nay » sur arrangeur EM OR – 50, piste CD n° 29

Les résultats (tableau A3) montrent que le différentiel entre les intervalles programmés et ceux mesurés par *Praat* est remarquablement petit (< 5% et, en tout état de cause, plus petit que 5 cents).

La plus grande différence observée (segment n° 2) est due au choix d'un segment en partie « haute » ; un autre choix de segment (par exemple entre 1,3 et 1,4 s.) donnerait un résultat plus proche des intervalles annoncés (pour ce dernier segment, la fréquence devient 852,46 l'intervalle 91,58 et le différentiel 1,58 d'où une correspondance remarquable (< 2%).

Les raisons de ces différences résident très souvent dans le phénomène d'attaque (de la note) ou, dans le cas présent, dans les algorithmes de génération de sons « altérés » : de là (pour le premier cas) la nécessité de mesurer des intervalles entre des segments stabilisés et correctement moyennés.

Tableau n° A3. Résultats des mesures avec son de « Nay » sur clavier-arrangeur EM OR – 50, piste CD n° 29 (« Nay »)

Son généré par un arrangeur Roland OR - 50, son == "Nay"			Calcul				
			ambitus		moyenne segment	intervalles	"erreur"
segment	notes	différentiel (en cents)	temps 1	temps 2	t1 à t2	différentiel	|diff.|
1:	***la***	**0**	**0,29**	**0,48**	**898,77**	**0,00**	**0,00**
2:	***sol# +10***	-90	1,18	1,31	855,09	-86,25	3,75
3:	***si + 22***	222	1,72	1,86	1021,05	220,84	1,16
4:	***la***	0	2,04	2,26	898,06	-1,37	1,37
5:	***sol# + 10***	-90	2,42	2,55	852,71	-91,08	1,08
6:	***fa***	-400	3,14	3,25	714,08	-398,24	1,76
7:	***mi + 15***	-485	3,47	3,59	680,15	-482,52	2,48

Conclusions

Praat est un logiciel de recherche à manipuler avec toutes les précautions inhérentes à ce type de programmes informatiques, concernant notamment :

- le choix des bornes d'analyse de hauteurs,
- le choix des segments mesurés,
- et le choix du degré de référence.

Les résultats des tests effectués semblent démontrer que, en cas d'utilisation par un musicologue moyennement compétent et en utilisant les options par défaut proposées par le logiciel (et en faisant les choix cités ci-dessus de manière judicieuse), l'erreur cumulative sur les intervalles mesurés ne devrait pas dépasser les 5 cents pour des intervalles courants, et devrait en tout état de cause rester plus petite que 5 % de l'intervalle considéré.

***Annexe II : Test (avec* Praat v. 4.0.49*) de la procédure « stretch » (étirement temporel de l'enregistrement) avec maintien des hauteurs originelles, pour les deux logiciels* Cool Edit v 2.0 *et* Audacity 1.2.6**

Le test a été effectué sur l'extrait d'un chant interprété par Inés Bacán[103]. L'extrait a été analysé successivement pour l'original (figure A13), puis pour un doublement de la durée sans changement des hauteurs avec le logiciel *Cool Edit* (figure A14), de même pour le logiciel *Audacity*[104] (figure A15).

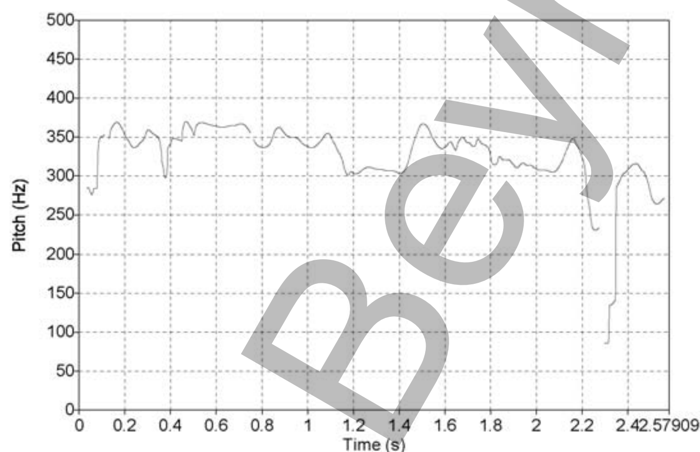


Figure n° A10. Original → 308,53 Hz à 1,289546 seconde, pas de temps de 0,0025 seconde.

Les graphiques sont éloquents, la forme du relevé changeant dans les deux cas[105], avec une différence notable pour la fréquence, ainsi que le rajout de « vibrato » dans le deuxième cas (*Audacity*) ainsi que, dans ce dernier cas, une procédure incorrecte d'allongement de la durée de l'extrait (le résultat pour l'extrait total est égal à 4.97 secondes, alors que l'extrait original est à 2.579 secondes) : d'où la nécessité d'utiliser ce genre de procédure avec précaution, en ayant au préalable testé les algorithmes du logiciel utilisé, et de prévoir une fourchette d'erreur (à déterminer).

[103] *Y a la puerta llaman*, 8e morceau, entre 15,786 et 18,368 secondes. Réf. : Inés Bacán, *flamenco vivo - Soledad Sonora*, B6873 - AD 100.

[104] Pour un téléchargement, se référer à la liste bibliographique.

[105] Malgré la précaution prise de doubler le pas temporel d'analyse pour les versions « allongées », leur durée (théorique, comme il apparaît sur les résultats) étant le double de celle de l'original.

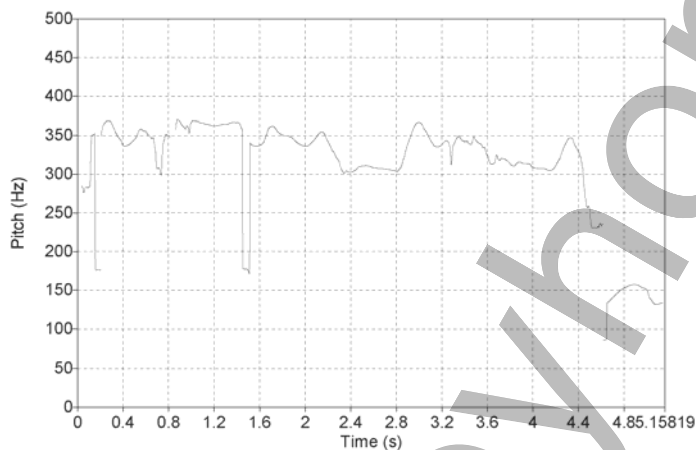


Figure n° A11. *Cool Edit* → 309,58 Hz à 2,579093 secondes, pas de temps de 0,005 seconde[106].

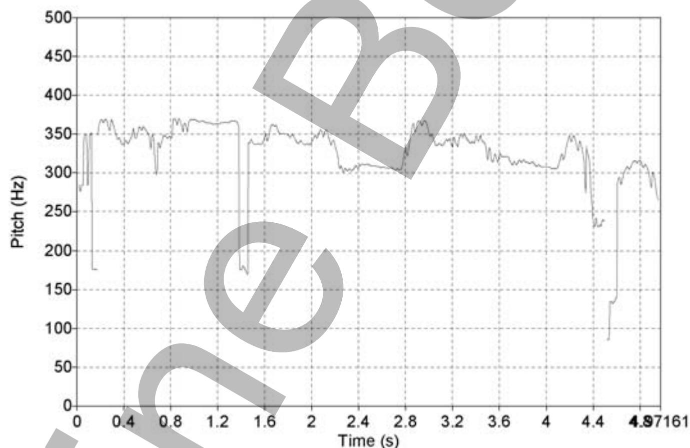


Figure n° A12. Audacity → 309,93 Hz à 2,485805 secondes (longueur totale = 4.971610 secondes), pas de temps de 0,005 seconde[107].

[106] Procédure de « stretch » : « Effects > Time/Pitch > Stretch > ("Ratio" = 50, cocher "Time Stretch" et "High Precision", ainsi que "Choose appropriate defaults") ».

[107] Procédure « Effet > Changer le tempo > ("Pourcentage de modification" = -50) ».